MAX

3 A

NOVA

VWO|GYMNASIUM

Natuurkunde



NAAM EN KLAS:

MALMBERG



3 VWO|GYMNASIUM

Natuurkunde

Auteurs
F. Alkemade
F. Kan
L. Lenders
S. Michon
F. Molin
R. Tromp
P. Verhagen

Eindredactie
C. Biemans

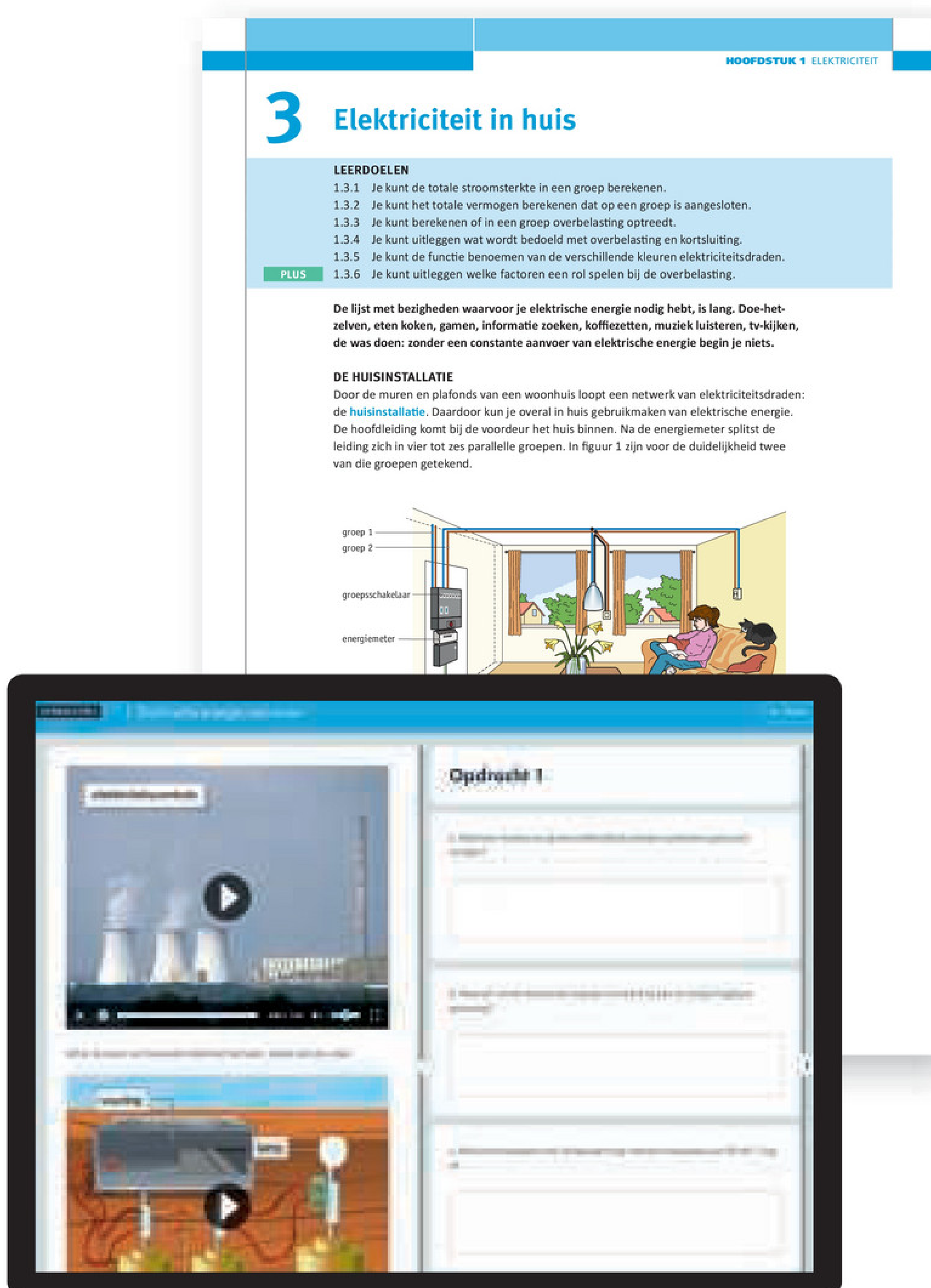
MAX Release 2020

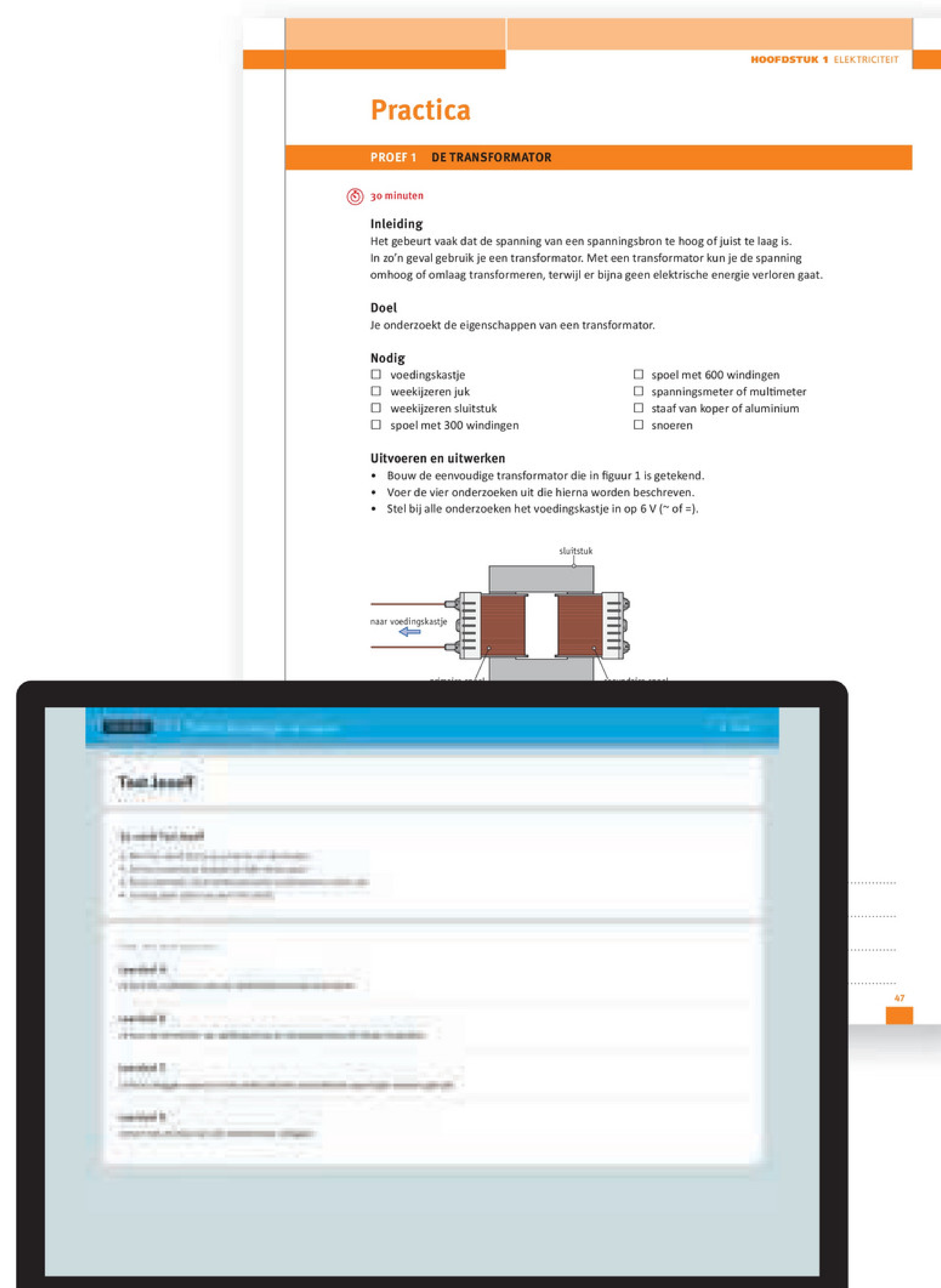
www.malmberg.nl/nova-natuurkunde
Malmberg, 's-Hertogenbosch

Aan de slag met Nova

Waarom Nova?

Natuurkunde gaat over de wereld om je heen. Met Nova heb je alles binnen handbereik om dit te ervaren, te beleven en te ontdekken!





Werk in je boek én online!

Er zijn twee boeken per leerjaar en een online leeromgeving. Je docent kiest wat je online doet (met laptop, tablet of telefoon) en wat in je boek. De antwoorden op de open opdrachten schrijf je niet in je boek, maar in je schrift. Elk hoofdstuk is verdeeld in een introductie waarin je je voorkennis vaststelt, theorieparagrafen, een practicumparagraaf, een praktijkartikel en een afsluiting. Aan het begin van elke paragraaf is met leerdoelen aangegeven wat je gaat leren. Met de plusstof kun je kijken of het vak natuurkunde ook in de bovenbouw geschikt voor je is. In het onderdeel practicum ga je met practica aan de slag en leer je onderzoeken. Aan het einde van elk hoofdstuk staat een praktijkartikel, waarin een deel van de lesstof in een situatie uit het dagelijks leven of de wetenschap wordt besproken. In de afsluiting vind je de onderdelen Onthoud en Begrippen.

Voordelen van online

- Je ziet snel wat je goed of fout doet.
- Je krijgt direct feedback op je antwoorden.
- Je bekijkt filmpjes en animaties.
- Je oefent belangrijke vaardigheden met de *Vaardigheidstrainer*.
- Je leert de begrippen met de *Flitskaarten*.
- Je meet of je de stof beheerst met de *Test jezelf*, *Oefentoets* en *Diagnostische toets*.
- Je kunt op een lager niveau en leerjaar werken.
- Je docent volgt hoe je het doet.

Vaardigheden

Aan het eind van elk boek vind je het onderdeel Vaardigheden, waarin de belangrijkste vaardigheden om onderzoek te doen worden uitgelegd. Enkele belangrijke vaardigheden kun je online oefenen met de *Vaardigheidstrainer*.



VAARDIGHEDEN

6 **Formules herschrijven**

Bij het vak natuurkunde gebruik je vaak formules. Zo'n formule kun je op verschillende manieren opschrijven. Soms is de ene vorm handiger, soms de andere. Dat wil niet zeggen dat je al die verschillende vormen moet onthouden. Als je één vorm onthoudt, dan kun je de andere vormen daar snel uit afleiden. Dat noem je de formule herschrijven.

Voor het herschrijven van formules kun je twee wiskundige methoden gebruiken: kruislings vermenigvuldigen en de balansmethode. Neem bijvoorbeeld de formule: $v = \frac{s}{t}$

Stel dat je met deze formule de tijd t wilt berekenen, dan kun je de formule als volgt herschrijven:

Methode 1: Kruislings vermenigvuldigen
Hiervoor schrijf je eerst beide kanten als breuk: $v = \frac{s}{t} \rightarrow \frac{v}{1} = \frac{s}{t}$, want $\frac{v}{1} = v$

Vermenigvuldig kruislings:
$\frac{v}{1} = \frac{s}{t} \rightarrow v \cdot t = s \cdot 1 \rightarrow v \cdot t = s$

Deel nu beide kanten door v: $v \cdot t = s \rightarrow \frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v}$

Vereenvoudig de uitkomst: $\frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v} \rightarrow t = \frac{s}{v}$, want $\frac{v}{v} = 1$

Methode 2: De balansmethode

Hierbij doe je aan beide zijden van het isgelijkteken steeds hetzelfde. Het isgelijkteken betekent namelijk dat aan beide zijden dezelfde waarde staat, bijvoorbeeld: 3 = 3, of $\frac{6}{2} = \frac{3}{1}$ of $v = \frac{s}{t}$

Je mag beide zijden met hetzelfde getal vermenigvuldigen. De waarden aan beide zijden van het isgelijkteken veranderen, maar zijn nog steeds aan elkaar gelijk, bijvoorbeeld: $\frac{6 \cdot a}{2} = \frac{3 \cdot a}{1} \rightarrow 3 \cdot a = 3 \cdot a$

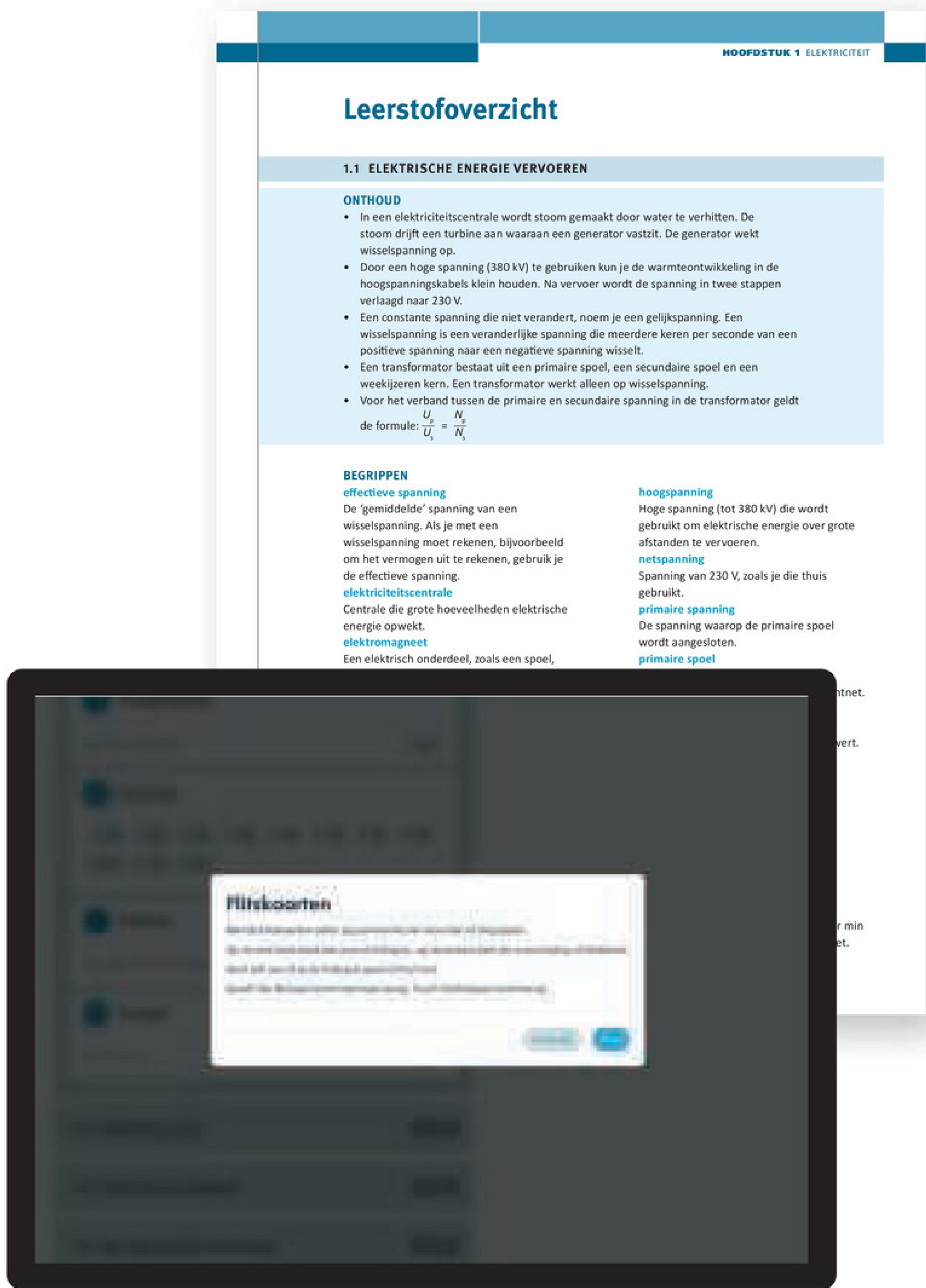
Hetzelfde geldt voor beide zijden delen door hetzelfde getal.

Voordelen van het boek

- Je hebt snel overzicht van wat je gaat leren.
- Je leest lange teksten op papier.
- Je markeert in de tekst en maakt aantekeningen.
- Je schrijft korte antwoorden meteen bij de opdracht.
- Tabellen en grafieken vul je in in het boek, net als de resultaten van practica.
- Je tekent en kleurt zodat je leerstof goed onthoudt.

Goede voorbereiding op de toets!

In het boek vind je in de afsluiting van elk hoofdstuk de onderdelen Onthoud en Begrippen die je helpen bij de voorbereiding op de toets. In de online paragraaf Afsluiting staat een *Diagnostische toets*. Hier vind je ook *Flitskaarten* voor het leren van alle begrippen. Twijfel je of je de stof voldoende beheerst? Maak dan aan het einde van elke paragraaf de *Test jezelf* of *Oefentoets*.



HOOFDSTUK 1 ELEKTRICITEIT

Leerstofoverzicht

1.1 ELEKTRISCHE ENERGIE VERVOEREN

ONTHOUD
- In een elektriciteitscentrale wordt stoom gemaakt door water te verhitten. De stoom drijft een turbine aan waaraan een generator vastzit. De generator wekt wisselspanning op.
- Door een hoge spanning (380 kV) te gebruiken kun je de warmteontwikkeling in de hoogspanningskabels klein houden. Na vervoer wordt de spanning in twee stappen verlaagd naar 230 V.
- Een constante spanning die niet verandert, noem je een gelijkspanning. Een wisselspanning is een veranderlijke spanning die meerdere keren per seconde van een positieve spanning naar een negatieve spanning wisselt.
- Een transformator bestaat uit een primaire spoel, een secundaire spoel en een weekijzeren kern. Een transformator werkt alleen op wisselspanning.
- Voor het verband tussen de primaire en secundaire spanning in de transformator geldt de formule: $\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s}$

BEGRIPPEN

effectieve spanning
De 'gemiddelde' spanning van een wisselspanning. Als je met een wisselspanning moet rekenen, bijvoorbeeld om het vermogen uit te rekenen, gebruik je de effectieve spanning.
elektriciteitscentrale
Centrale die grote hoeveelheden elektrische energie opwekt.
elektromagneet
Een elektrisch onderdeel, zoals een spoel,

hoogspanning
Hoge spanning (tot 380 kV) die wordt gebruikt om elektrische energie over grote afstanden te vervoeren.
netspanning
Spanning van 230 V, zoals je die thuis gebruikt.
primaire spanning
De spanning waarop de primaire spoel wordt aangesloten.
primaire spoel

Betekenis van de symbolen

Ga naar de online leeromgeving voor handige extra's.

PROEF 1 Er is een practicum bij deze lesstof.

Met dit practicum ben je zo lang bezig.

Gebruik de vaardigheid bij deze opdracht.

Deze opdracht biedt extra uitdaging.

Inhoud Deel A

Inhoud Deel B

1 Elektriciteit

ELEKTRISCHE ENERGIE GEBRUIKEN

Duurzame energiebronnen zijn de toekomst. Je ziet steeds meer zonnepanelen en windmolens die elektriciteit opwekken. Auto's die rijden op benzine of diesel worden steeds vaker vervangen door elektrische auto's. In plaats van te tanken bij een benzinestation, zoek je nu een parkeerplaats bij een laadpaal op straat.





Wat weet je al over elektriciteit?

LEERDOELEN

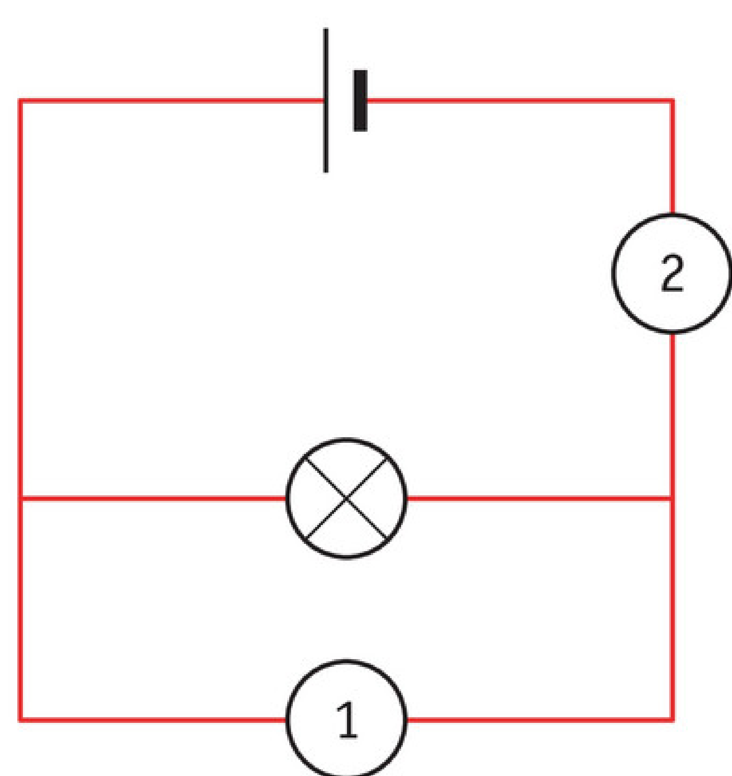
1 Je kunt uitleggen wat spanning en stroomsterkte zijn en hoe je deze grootheden meet.
2 Je kunt uitleggen wat de frequentie van een trilling is.
3 Je kunt het verschil tussen een parallelschakeling en een serieschakeling uitleggen.
4 Je kunt rekenen met de eenheden van stroomsterkte, spanning en tijd.
5 Je kunt uitleggen welke stoffen geleiders en isolatoren zijn en daarvan een aantal voorbeelden geven.
6 Je kent de symbolen die je gebruikt om een schakelschema te maken.

In deel 1-2 van Nova nask heb je al een aantal dingen over elektriciteit geleerd. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

OPDRACHTEN VOORKENNIS

1 In de schakeling van figuur 1 worden twee meters gebruikt, 1 en 2. Ze zijn juist geschakeld.

- Meter .... is een stroommeter. Hiermee meet je de .... in de eenheid ...., afgekort ....
- Meter .... is een spanningsmeter. Hiermee meet je de .... in de eenheid ...., afgekort ....



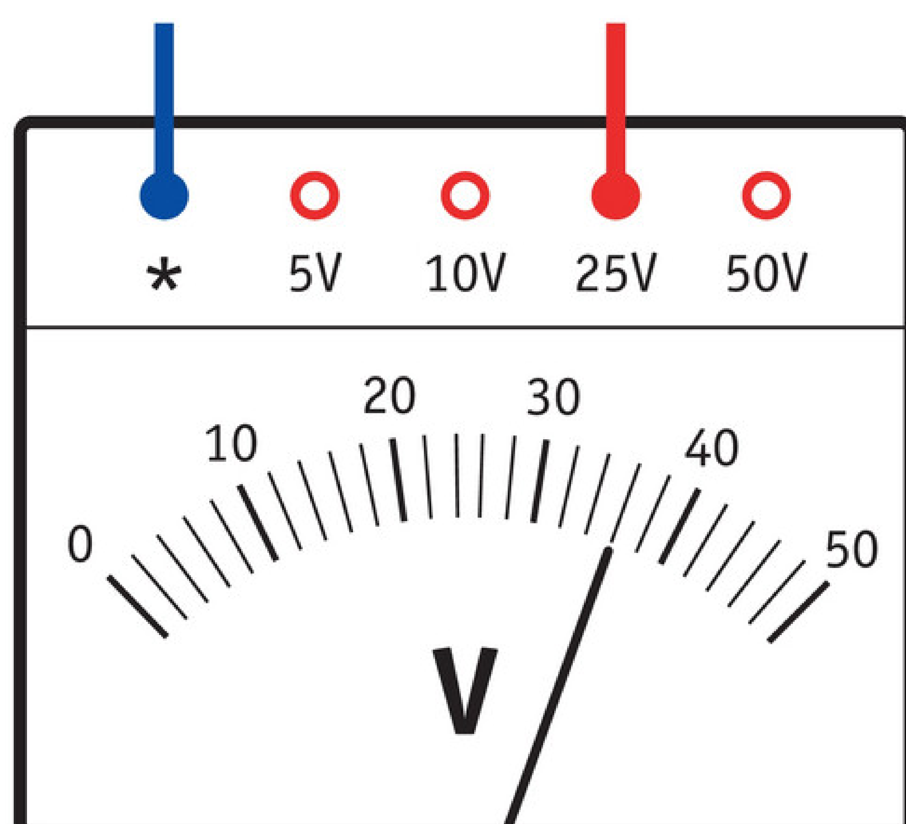
figuur 1 Een schakeling met twee meters.

2 Riza's luidspreker maakt een irritante bromtoon. De conus van de luidspreker gaat daarbij vijftig keer per seconde heen en weer.
Wat is juist?

○ A De amplitude van de geluidstrilling is 50 dB.
○ B De amplitude van de geluidstrilling is 50 Hz.
○ C De frequentie van de geluidstrilling is 50 dB.
○ D De frequentie van de geluidstrilling is 50 Hz.

3 Lees de spanningsmeter in figuur 2 af. Let op de aansluiting van het rode snoer.

U = ... V



figuur 2 Een spanningsmeter.

4 Reken om.

275 mV = ... V

0,025 V = ... mV

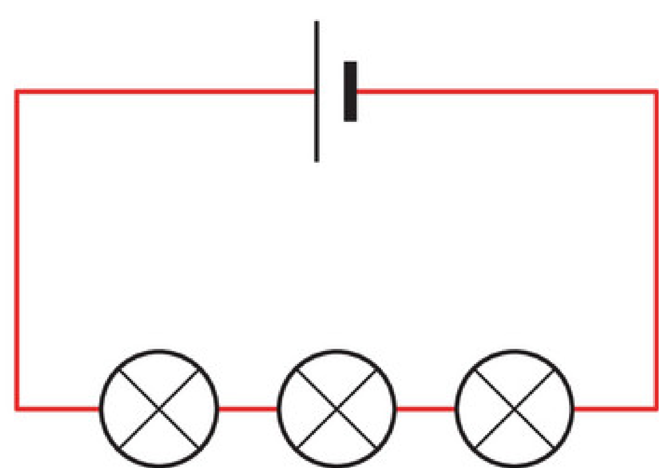
17 mA = ... A

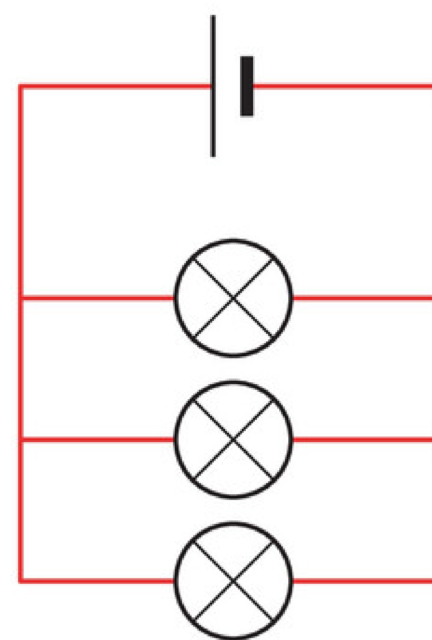
0,734 A = ... mA

45 min = ... h

0,125 h = ... s

5 Schrijf onder elke figuur de soort schakeling.





....

6 Onderstreep de materialen die elektrische stroom goed geleiden.
hout / glas / ijzer / koper / plastic / zilver



Wil je weten of je voldoende voorkennis hebt voor dit hoofdstuk, maak dan online de Voorkennistoets. Daar vind je ook filmpjes over de belangrijkste leerdoelen voor dit hoofdstuk.

1 Elektrische energie opwekken

LEERDOELEN

1.1.1 Je kunt de onderdelen van een energiecentrale beschrijven en hun functie benoemen.
1.1.2 Je kunt uitleggen op welke manier een inductiespanning in een dynamo wordt opgewekt.
1.1.3 Je kunt toelichten wat er wordt bedoeld met (geleverd of opgenomen) elektrisch vermogen.
1.1.4 Je kunt het energieverbruik van een elektrisch apparaat berekenen in de eenheid joule.
1.1.5 Je kunt kleine, alledaagse en zeer grote hoeveelheden energie weergeven in joule, met voorvoegsels of met machten van 10.
PLUS 1.1.6 Je kunt berekeningen maken met vermogen, wattpiek en energie.

In Nederland staan tientallen elektriciteitscentrales (figuur 1). Ze produceren een groot deel van de elektrische energie die de inwoners nodig hebben. De bijdrage van zonnecellen en windturbines in Nederland is nog niet erg groot, maar gaat de komende jaren flink stijgen.

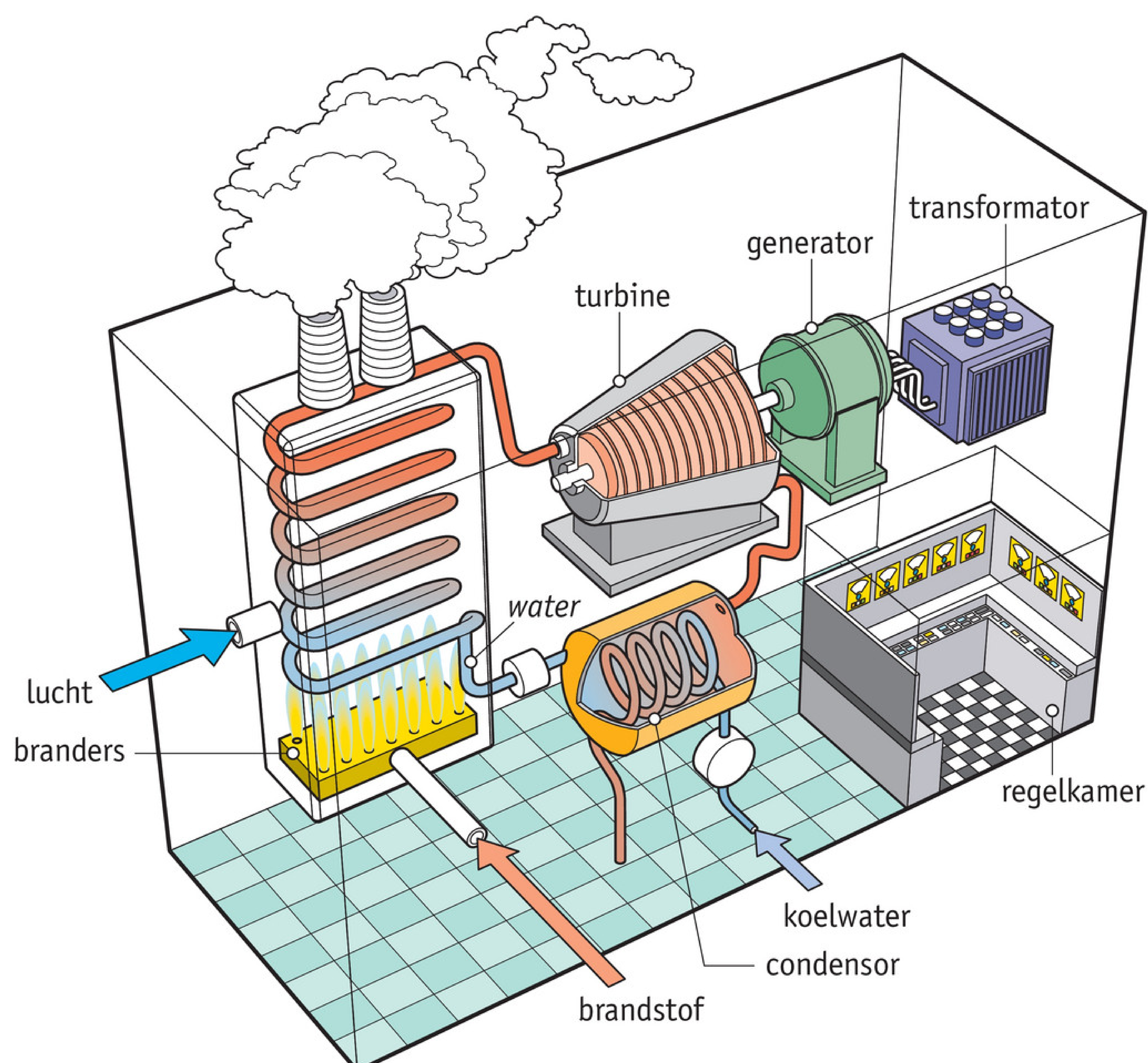


figuur 1 De Amercentrale in Geertruidenberg.

DE ELEKTRICITEITSCENTRALE

Een **elektriciteitscentrale** wekt voor vele duizenden huishoudens en bedrijven elektrische energie op. In figuur 2 zie je hoe zo'n elektriciteitscentrale werkt.

1 Door grote branders wordt aardgas, steenkool of een andere brandstof verbrand. Met de vrijkomende warmte wordt het water in een ketel verhit. Hierdoor ontstaat stoom – hete waterdamp – met een temperatuur van ongeveer 500 °C en een zeer hoge druk.
2 De stoom spuit met grote snelheid tegen de schoepen van een **turbine**. Daardoor gaat de as van de turbine ronddraaien.
3 Aan de as van de turbine is een **generator** gekoppeld, een soort grote dynamo. Als de as van de turbine draait, wordt er in de generator elektrische energie opgewekt.
4 De 'afgewerkte' stoom, die een veel lagere temperatuur en druk heeft, wordt naar een condensor geleid. Daar wordt de stoom met behulp van koelwater afgekoeld, zodat hij condenseert tot vloeibaar water. Dit water wordt vervolgens teruggepompt naar de ketel. Daar begint de cyclus opnieuw.



figuur 2 Zo ziet een elektriciteitscentrale er vanbinnen uit.

Het koelwater wordt meestal uit een rivier of een meer gehaald en na gebruik weer teruggepompt. Het is dan niet vervuild, maar wel flink warmer geworden. Als het koelwater te warm is om rechtstreeks te lozen, moet het eerst in een koeltoren afkoelen (figuur 3). De witte 'rook' die je uit zo'n koeltoren ziet komen bestaat uit koelwater dat eerst is verdampt en nu in de koude buitenlucht weer condenseert.



figuur 3 De witte 'rook' uit koeltorens bestaat uit waterdruppeltjes.

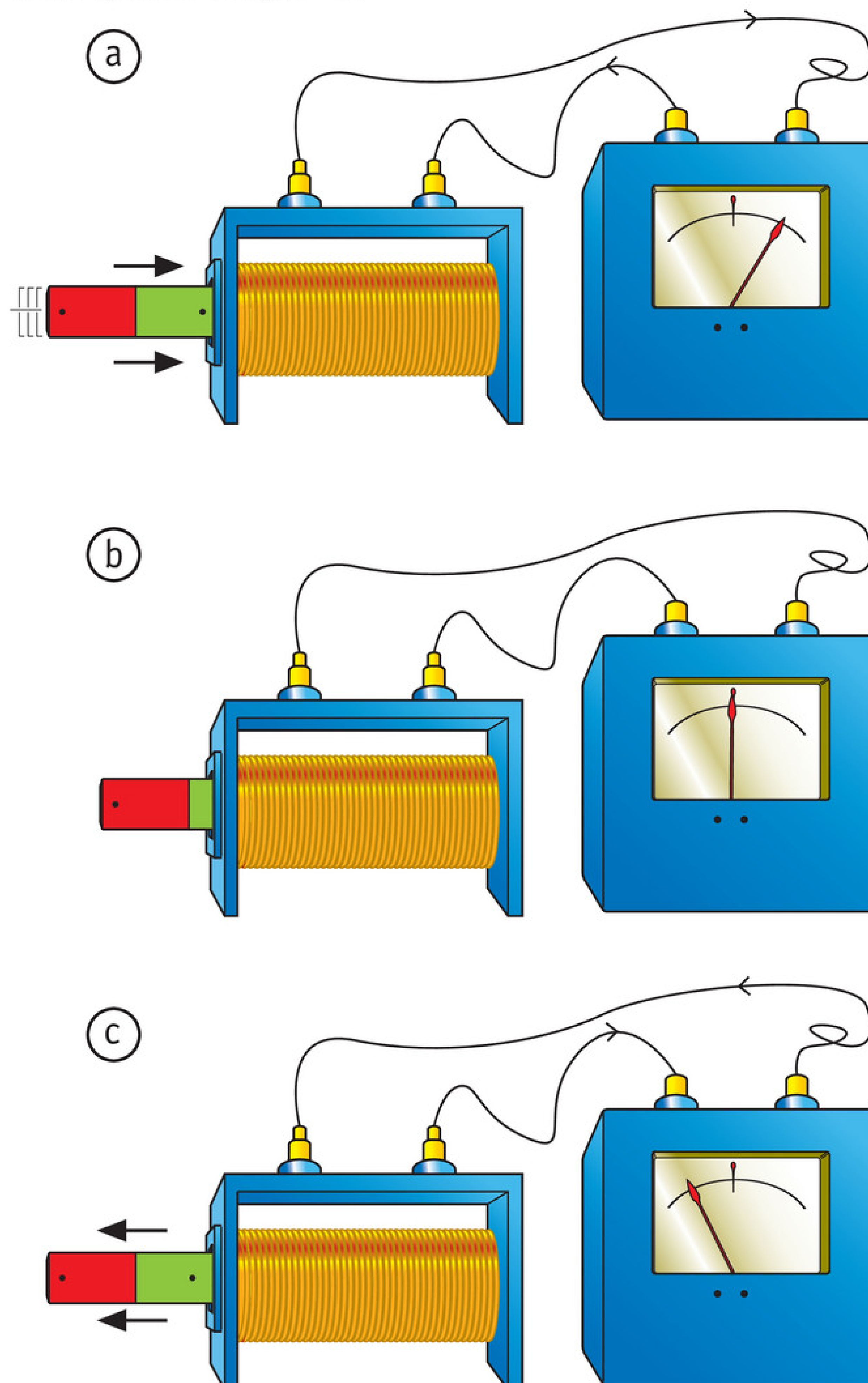
EEN INDUCTIESPANNING OPWEKKEN

De generator in een elektriciteitscentrale werkt volgens hetzelfde principe als een fietsdynamo. Allebei gebruiken ze een beweging om een spanning op te wekken. In figuur 4 zie je een proef met een eenvoudig model van een dynamo. De opstelling bestaat uit een **spoel** (een spiraal van geïsoleerd koperdraad), een magneet en een spanningsmeter.

- In figuur 4a schuift iemand de magneet in de spoel. De spanningsmeter slaat dan uit naar rechts.
- In figuur 4b ligt de magneet in de spoel zonder te bewegen. De spanningsmeter staat dan op 0 V.
- In figuur 4c wordt de magneet uit de spoel getrokken. De spanningsmeter slaat nu uit naar links.

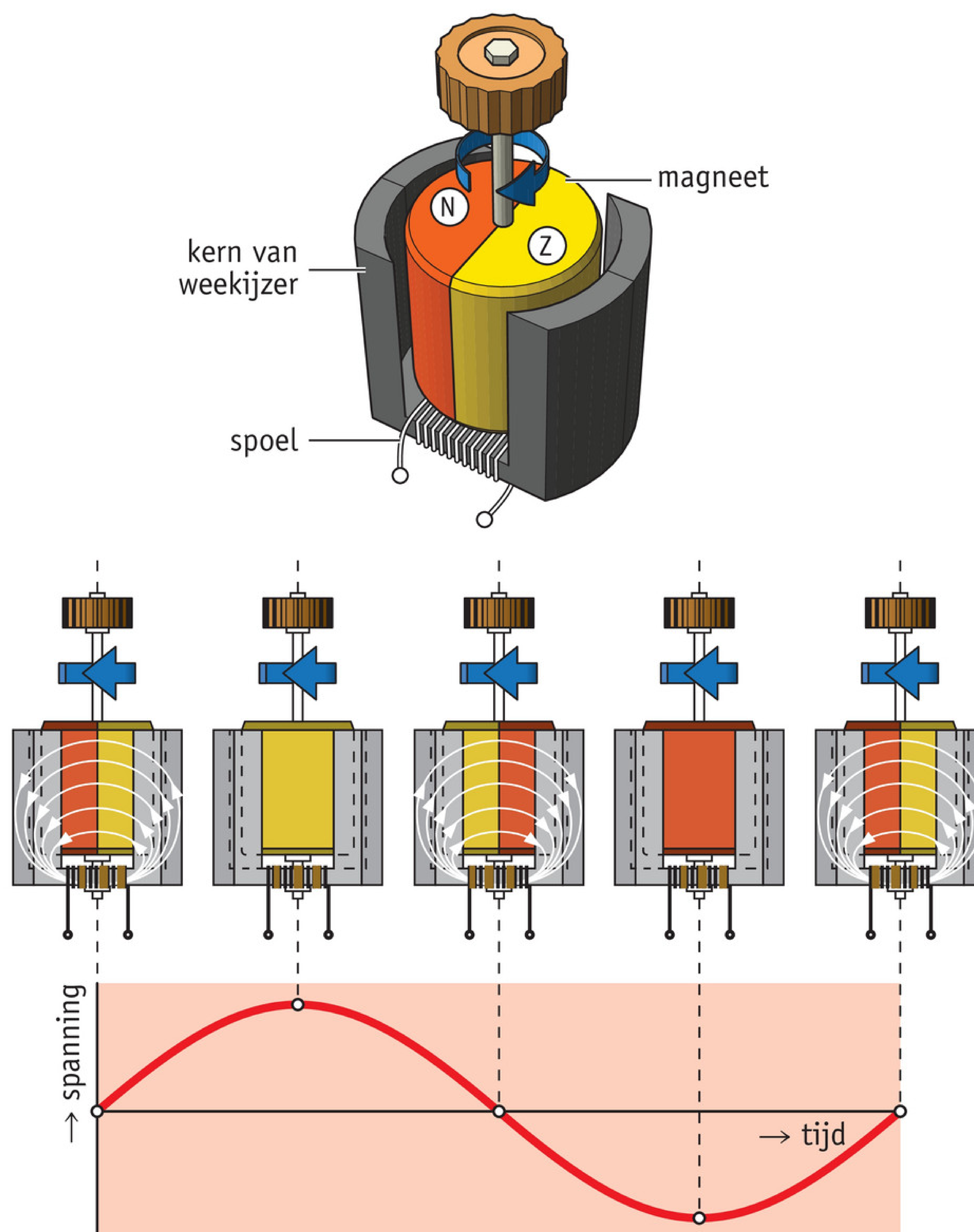
Als je de magneet regelmatig in de spoel heen en weer beweegt, verandert de spanning de hele tijd mee. Met andere woorden: er ontstaat een **wisselspanning** (steeds veranderende spanning) tussen de uiteinden van de spoel. Dit verschijnsel heet **inductie**. De opgewekte wisselspanning wordt ook wel een **inductiespanning** genoemd.

figuur 4 Een wisselspanning opwekken met een bewegende magneet.



De opstelling in figuur 4, met een heen en weer bewegende magneet, is niet praktisch. In een echte dynamo wordt een draaiende beweging gebruikt. In figuur 5 is zo'n dynamo getekend. De spoel is aangebracht rond een U-vormige kern van weekijzer. **Weekijzer** is een soort ijzer dat je snel kunt magnetiseren en demagnetiseren. Als je een magneet bij dit ijzer houdt, wordt het snel magnetisch. Als je de magneet weghaalt, is het magnetisme even snel weer verdwenen.

Als de magneet draait, wordt het weekijzer steeds verschillend gemagnetiseerd. Dat kun je zien aan de **veldlijnen** die in de kern zijn getekend. Deze lijnen geven de richting van het **magneetveld** aan (het gebied waar de magneet krachten uitoefent). Bij elke omwenteling van de magneet verandert het magneetveld door de spoel twee keer van richting. Zo wordt een inductiespanning tussen de uiteinden van de spoel opgewekt.



figuur 5 Zo wordt er in een dynamo een wisselspanning opgewekt.

ELEKTRISCH VERMOGEN

De ene elektriciteitscentrale kan in een bepaalde tijd meer **elektrische energie leveren** dan de andere. Om centrales op dat punt met elkaar te vergelijken, kijk je naar hun elektrisch vermogen. Het **elektrisch vermogen** is de maximale hoeveelheid elektrische energie die centrales per seconde kunnen leveren. De Enecogen-centrale in Rotterdam-Europoort heeft bijvoorbeeld een elektrisch vermogen van 870 megawatt (870 MW). Er zijn ook centrales die het dubbele kunnen leveren.

Centrales en windturbines produceren elektrische energie voor apparaten, zoals lampen, computers, wasdrogers, enzovoort. Je zegt dat deze apparaten **elektrische energie verbruiken**. Dat betekent niet dat de energie helemaal verdwijnt. In plaats van de elektrische energie ontstaan altijd een of meer andere energiesoorten. Een ledlamp bijvoorbeeld verbruikt elektrische energie, maar produceert in plaats daarvan twee andere soorten energie: licht en warmte.

Elk elektrisch apparaat heeft zijn eigen vermogen. Dat is de hoeveelheid elektrische energie die het apparaat per seconde verbruikt. Een ledlamp kan bijvoorbeeld een vermogen van 10 W hebben. Dat is uiteraard heel weinig als je dat vergelijkt met het vermogen van een centrale of een windturbine. Eén windturbine van 3,0 MW kan – als het hard genoeg waait – honderdduizenden ledlampen tegelijk van elektrische energie voorzien (figuur 6).



figuur 6 Een windturbine met een vermogen van 3,0 MW is ongeveer 100 m hoog.

HET ENERGIEVERBRUIK BEREKENEN

Een apparaat met een hoog vermogen hoeft niet per se een hoog energieverbruik te hebben. Als je het apparaat bijna nooit gebruikt, valt het energieverbruik wel mee. Omgekeerd kan een apparaat met een klein vermogen onverwacht veel energie verbruiken als het dag en nacht aanstaat. Het energieverbruik van een apparaat wordt dus bepaald door het vermogen en de tijd dat het wordt gebruikt. In formulevorm:

$$E = P \cdot t$$

Hierin is:

- E de energie in joule (J);
- P het vermogen in watt (W);
- t de tijd in seconde (s).

Je kunt deze formule ook schrijven als:

$$P = \frac{E}{t}$$

Als je het energieverbruik in joule deelt door de tijd in seconde, vind je het vermogen in watt. Dat wil zeggen dat 1 watt overeenkomt met 1 joule per seconde (1 W = 1 J/s). Je kunt dus zeggen dat een elektrisch apparaat een vermogen van 10 watt heeft, maar ook dat het 10 joule elektrische energie per seconde verbruikt. Dat lijken verschillende uitspraken, maar ze komen op hetzelfde neer.

VOORBEELDOPDRACHT 1

De ledlamp in figuur 7 blijft 2,0 minuten branden als de sensor in de lamp een beweging heeft gesignaleerd.
Bereken het energieverbruik van de lamp (in kJ).

gegevens P = 10 W
t = 2,0 min = 120 s

gevraagd E = ?

uitwerking $E = P \cdot t$ = 10 × 120 = 1200 J = 1,2 kJ



figuur 7 Een ledlamp van 10 W met een sensor.

ENERGIE METEN IN JOULE

Zoals je al uit voorbeeldopdracht 1 kon opmaken, is 1 joule een heel kleine hoeveelheid energie. Met 1 joule elektrische energie kun je bijvoorbeeld:

- een lampje van 1 watt 1 seconde laten branden;
- een voorwerp van 100 gram ongeveer 1 meter omhooghijsen;
- de temperatuur van 1 gram water met 0,24 °C laten stijgen.

Elektrische apparaten gebruiken meestal veel grotere hoeveelheden elektrische energie. Dat soort hoeveelheden kun je beter weergeven in kilojoule (kJ) of megajoule (MJ). Die hebben daarvoor een handige grootte. De accu van een smartphone bevat bijvoorbeeld 15 à 25 kJ elektrische energie als hij is opgeladen. En een gezin van vier personen verbruikt per dag gemiddeld 45 MJ aan elektrische energie.

De elektrische energie die een centrale in een week of een jaar levert, is nog veel groter. In berekeningen kun je zulke grote hoeveelheden het gemakkelijkst weergeven met machten van 10, zoals in voorbeeldopdracht 2. Je kunt het antwoord, als je dat wilt, ook schrijven met een voorvoegsel: $32 \cdot 10^{14}$ J = 3,2 PJ (petajoule). Zie de vaardigheden *Werken met grootheden en eenheden* en *Werken met machten van 10*.

VOORBEELDOPDRACHT 2

De Enecogen-centrale (870 MW) werkte in de week van 7-13 oktober gemiddeld op 60 procent van zijn maximale vermogen.
Bereken hoeveel elektrische energie deze centrale in die week (7,0 d) produceerde.

gegevens P = 60% van 870 MW = 522 MW = $5{,}22 \cdot 10^8$ W
t = 7,0 d = $6{,}05 \cdot 10^5$ s

gevraagd E = ?

uitwerking $E = P \cdot t = 5{,}22 \cdot 10^8 \times 6{,}05 \cdot 10^5 = 32 \cdot 10^{14}$ J

PLUS ZONNEPANELEN

Steeds meer elektrische energie wordt niet in een centrale opgewekt, maar vlak bij je huis. Op de daken van huizen en bedrijven zie je dan ook een toenemend aantal zonnepanelen liggen (figuur 8). Op die manier wordt steeds minder fossiele brandstof verbruikt en is het ook niet nodig elektrische energie over grote afstand te vervoeren.

Een zonnepaneel zet stralingsenergie van de zon om in elektrische energie. Het aantal zonnepanelen dat je nodig hebt om in je eigen elektrische energiebehoefte te voorzien (gemiddeld zo'n 10 GJ per jaar per huishouden in Nederland) hangt onder andere af van het vermogen dat de zonnepanelen kunnen leveren. Internationaal is afgesproken dat het vermogen van een zonnecel wordt aangegeven in **wattpiek**, afgekort **Wp**. Het aantal Wp is het elektrisch vermogen van een zonnepaneel als het licht loodrecht invalt met een vermogen van 1000 W/m^2 bij een temperatuur van het zonnepaneel van 25 °C. Je mag er bij berekeningen vaak van uitgaan dat dit het maximale vermogen is dat een zonnepaneel kan leveren. Voor een doorsnee zonnepaneel geldt dat je ongeveer vijftien exemplaren nodig hebt om een gemiddeld huishouden van elektrische energie te voorzien.



figuur 8 Een woonhuis met zonnepanelen op het dak.



Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Met een dynamo kun je een wisselspanning opwekken.

Zo'n wisselspanning noem je ook wel een ....

b De spoel in een dynamo is aangebracht rond een U-vormige metalen kern.

De kern van dit metaal is gemaakt van ....

c Waarom wordt dit metaal gekozen?

d Wat wordt bedoeld met 'het magneetveld van een magneet'?

2 Bekijk de afbeelding van de elektriciteitscentrale in figuur 2.

a Waarvoor wordt de warmte gebruikt die de branders produceren?

b Hoe wordt de as van de turbine daarna aan het draaien gebracht?

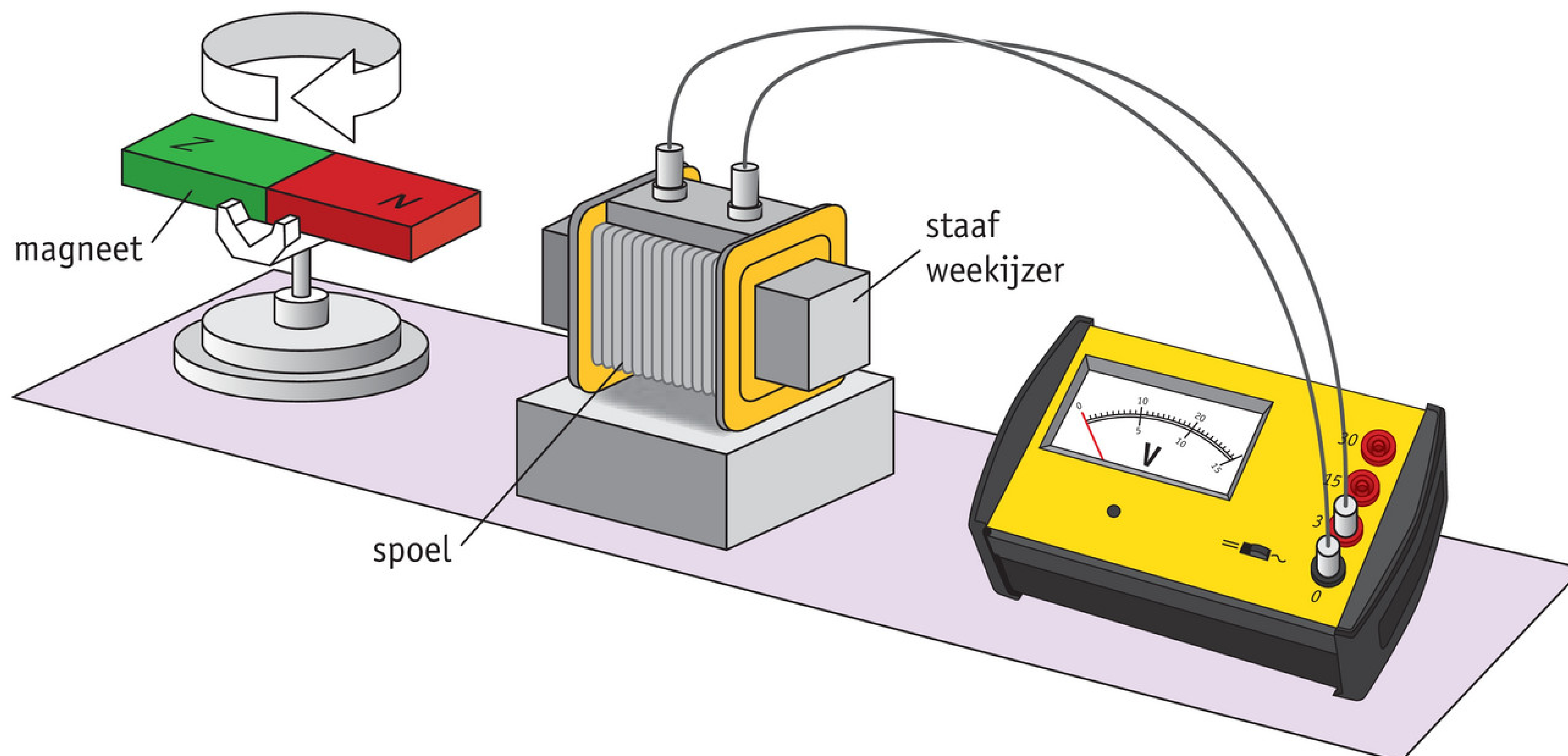
c Hoe heet het apparaat dat wordt gebruikt om met behulp van die beweging elektriciteit op te wekken?

d Waarom worden er bij sommige elektriciteitscentrales koeltorens gebouwd?

TOEPASSING

3 Stefan doet de proef die in figuur 9 is afgebeeld. De spanningsmeter slaat uit als Stefan de magneet laat draaien. Hij brengt daarna vier keer een verandering aan in zijn opstelling. Verandert in de volgende gevallen de spanning en zo ja, hoe?

a Stefan laat de magneet sneller ronddraaien.
b Stefan laat de magneet met dezelfde snelheid in de tegengestelde richting draaien.
c Stefan haalt de staaf weekijzer uit de spoel weg.
d Stefan vervangt de magneet door een sterkere magneet.



figuur 9 De proef van Stefan.

4 De fiets van Jeroen heeft een dynamo in de naaf van het voorwiel. Als het donker wordt, schakelt het licht automatisch aan. Na een tijdje wordt Jeroen moe en gaat hij langzamer fietsen.
Op welke twee manieren verandert dan de spanning die de dynamo levert?

5 De steenkoolcentrale Centrale Hemweg in Amsterdam levert een piekvermogen van 630 MW aan het elektriciteitsnet. Het windmolenpark Wieringerwerf levert een piekvermogen van 300 MW. Een doorsnee huishouden neemt tijdens de uren dat het elektriciteitsverbruik het hoogst is, gemiddeld een elektrisch vermogen van 800 W op.

a Zie de vaardigheid *Werken met grootheden en eenheden*.
Bereken hoeveel huishoudens door de Centrale Hemweg en door het windmolenpark Wieringerwerf van elektrische energie kunnen worden voorzien.

 **Meer oefening nodig met *Rekenen met elektrisch vermogen*? Ga naar de *Vaardigheidstrainer*.**

b De meeste elektriciteitscentrales werken gedurende het grootste deel van de dag ver onder hun piekvermogen.
Leg uit waarom dat zo is.
c De meeste windmolenparken werken gedurende het grootste deel van de dag ver onder hun piekvermogen.
Leg uit waarom dat zo is.

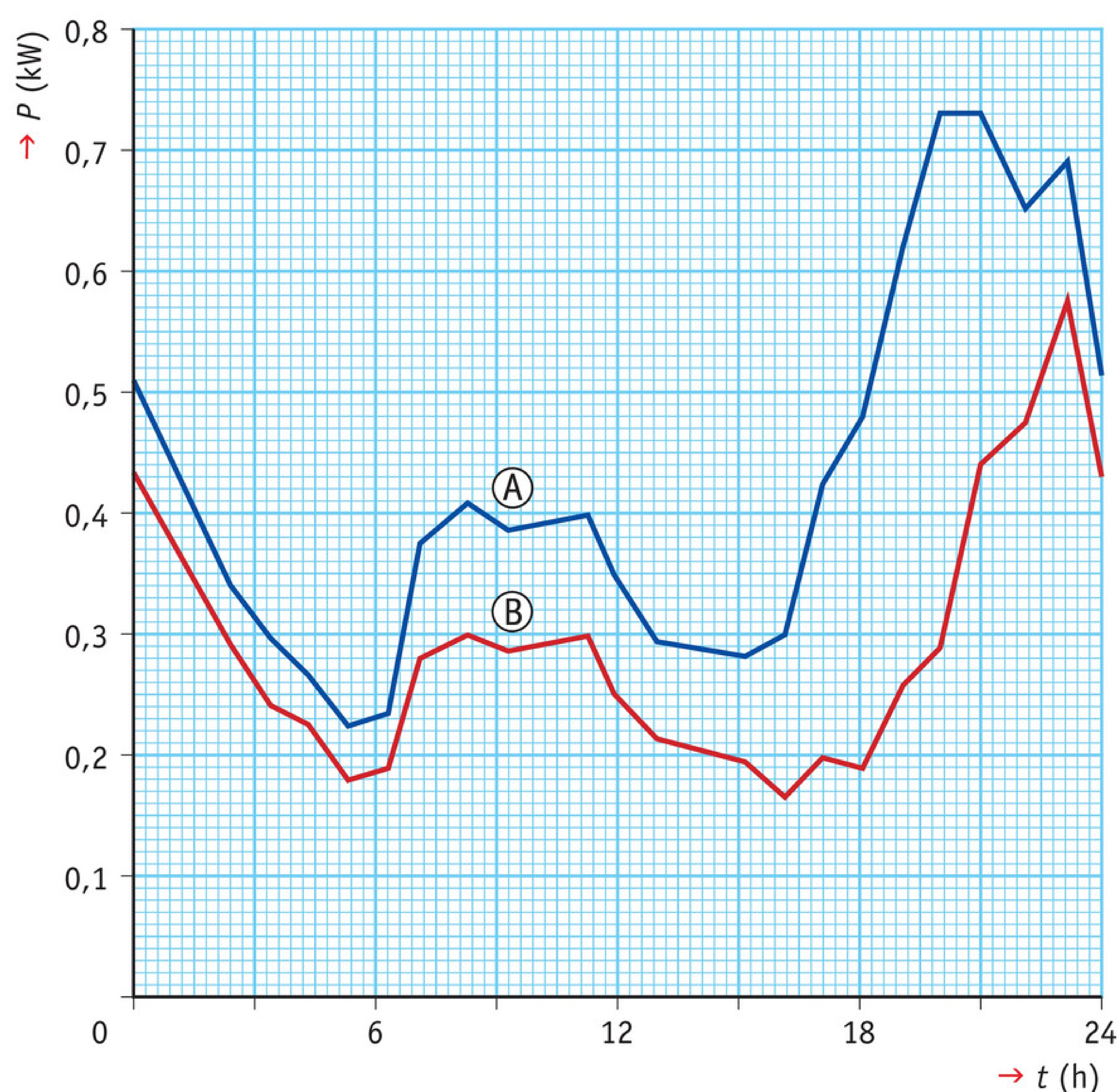
6 In figuur 10 staat het elektrisch vermogen dat een gemiddeld huishouden opneemt in de loop van een etmaal. De ene grafiek geldt voor de zomer, de andere voor de winter.

a Welke grafiek geldt voor de winter? Licht je antwoord toe.

b Hoe groot is het verschil tussen het maximaal en het minimaal benodigde vermogen in de winter?

c Leg uit waarom dit een probleem is voor de elektriciteitsproductie en bedenk een mogelijke oplossing daarvoor.

d Maak een schatting van het gemiddelde opgenomen vermogen in de winter.



figuur 10 Het opgenomen vermogen van een gemiddeld huishouden.

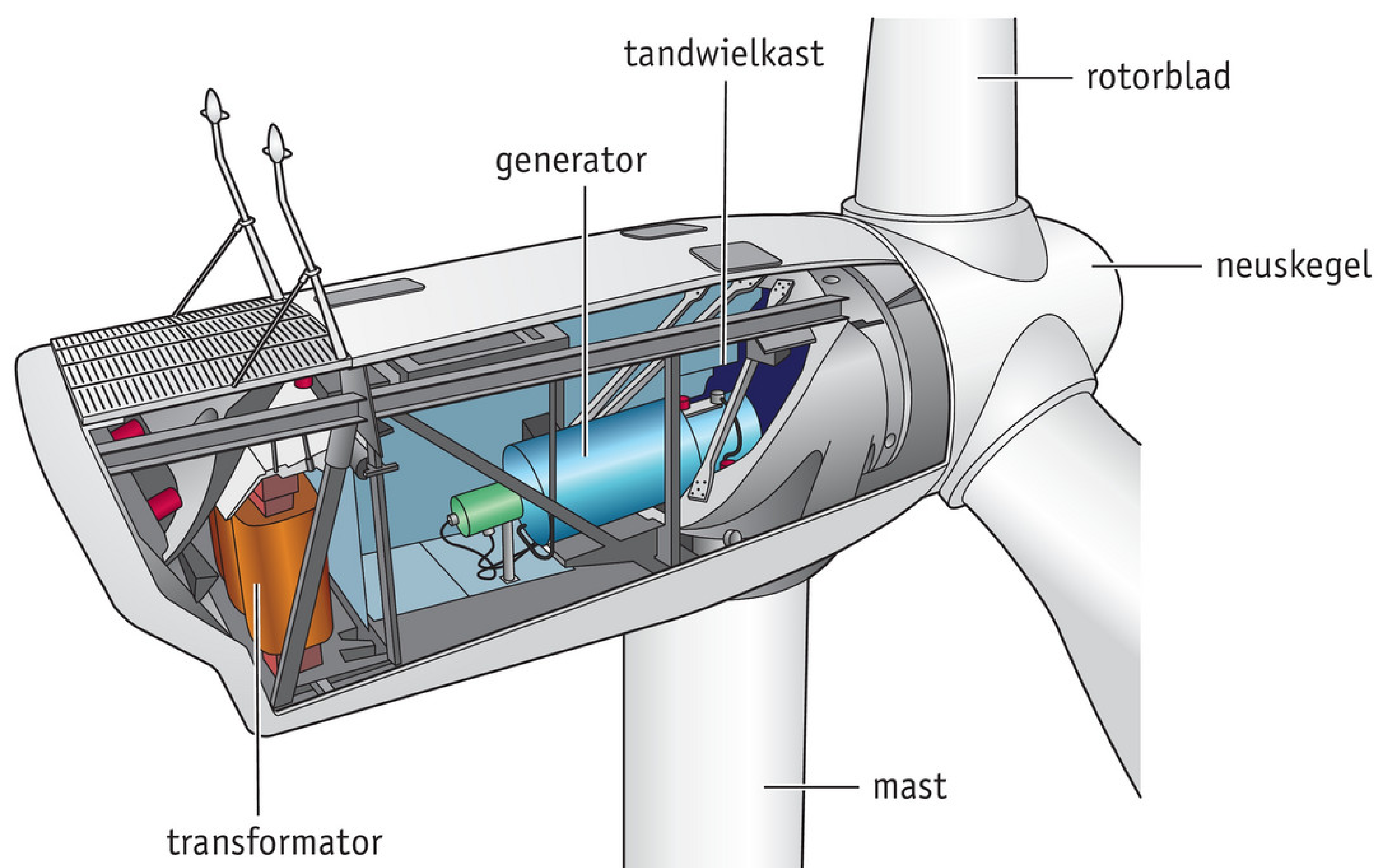
7 In figuur 11 zie je een doorsnede van de kop van een windmolen.

a Leg stap voor stap uit hoe de molen elektrische energie levert.

b Waarom is er een tandwielkast nodig?

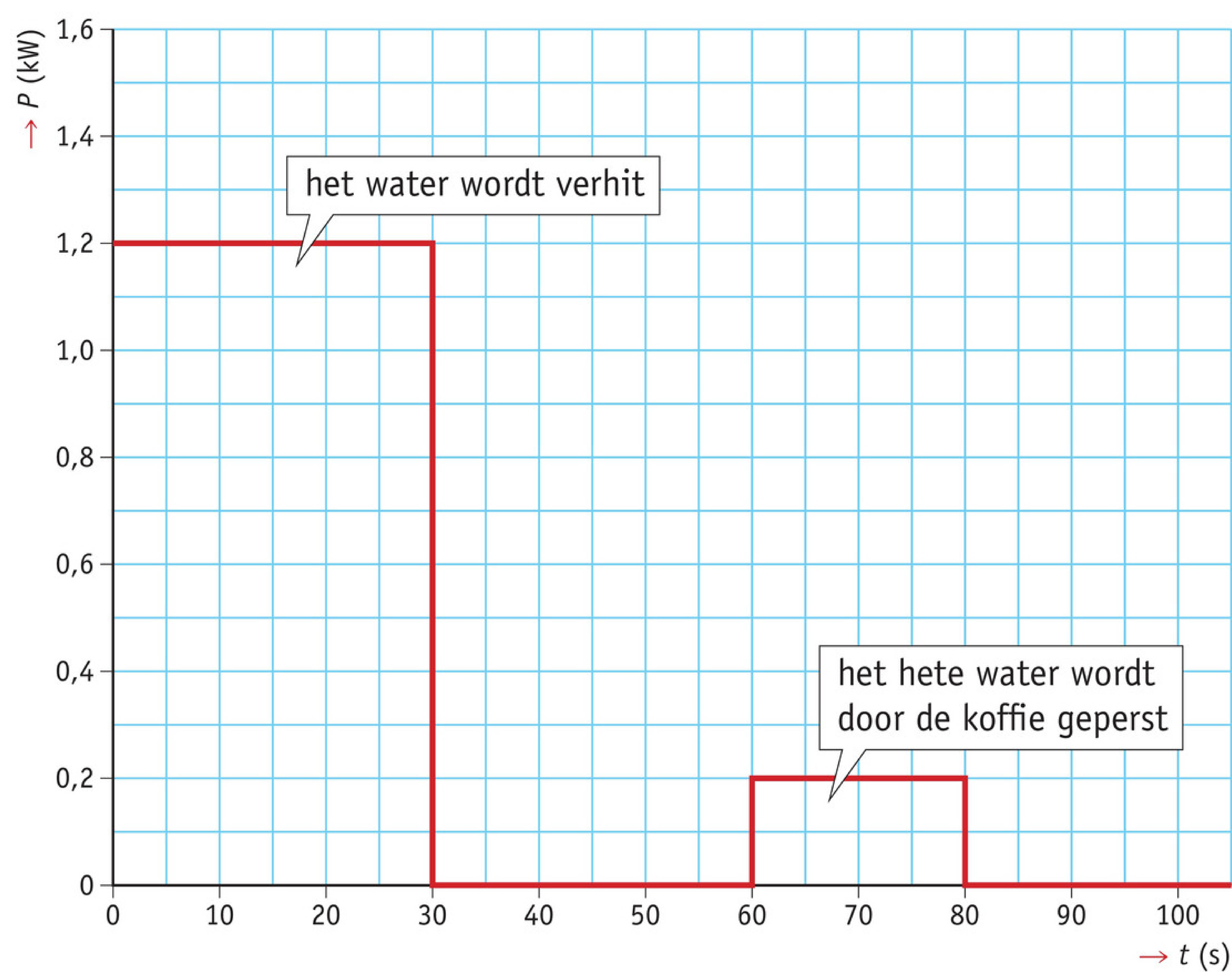
c Levert een windmolen wissel- of gelijkspanning?

d Hoe verandert de frequentie als de molen sneller gaat draaien?



figuur 11 De kop van een windmolen.

8 Met een koffiepadmachine kun je snel een kopje koffie zetten. Eerst maakt zo'n machine de juiste hoeveelheid water heet. Daarna perst ze het hete water onder hoge druk door een koffiepad. In figuur 12 kun je zien hoe het vermogen daarbij omhoog- en omlaaggaat. Bereken met de gegevens in figuur 12 hoeveel elektrische energie nodig is om één kopje koffie te zetten.



figuur 12 Het (*P*,*t*)-diagram van een koffiepadmachine.

 **Test je kennis met de *Test jezelf*.**

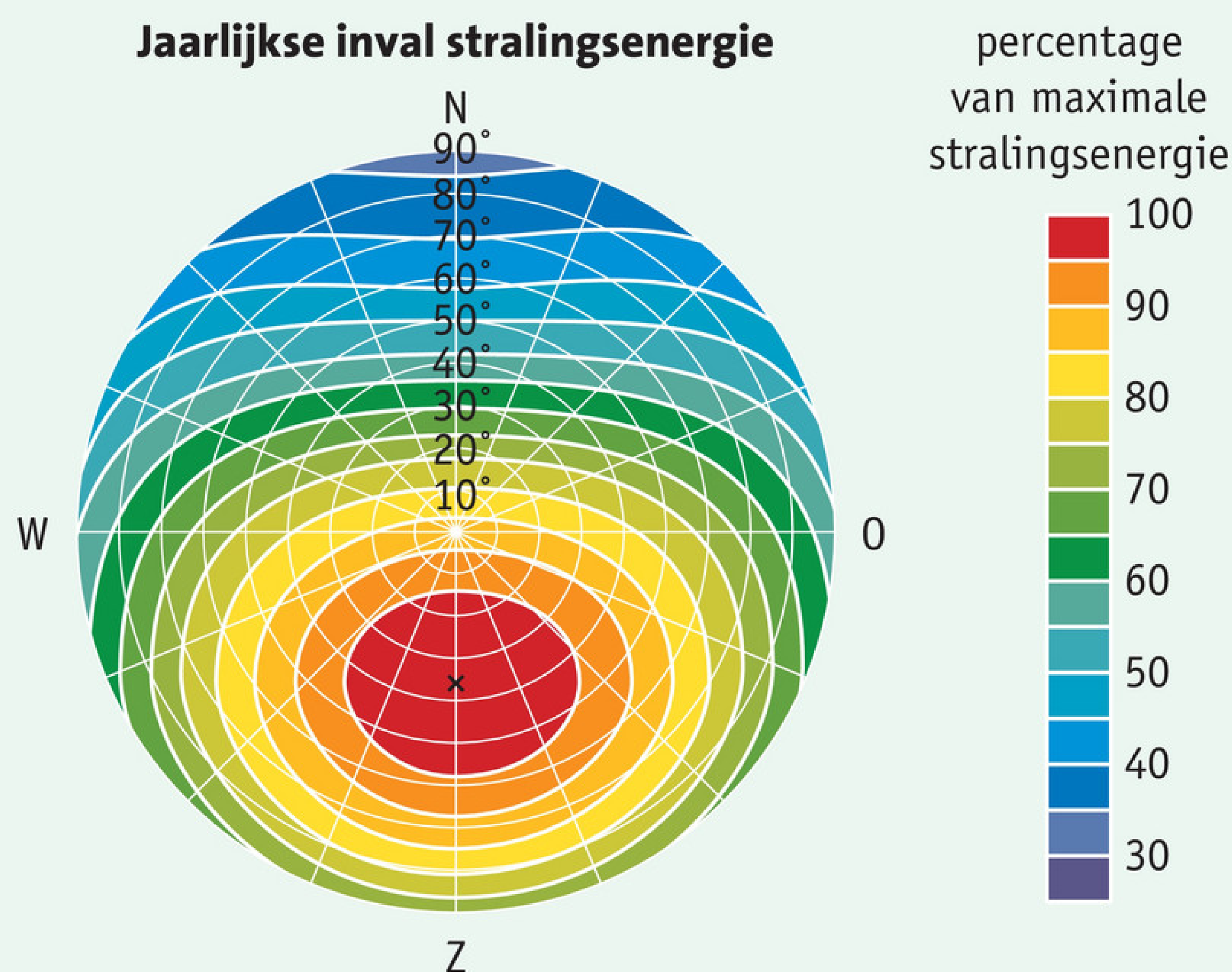
PLUS ZONNEPANELEN

9 Voor de productie, het transport en de recycling van een zonnepaneel van 1,0 m² is 1,8 GJ nodig. Na een bepaalde tijd heeft dat zonnepaneel diezelfde hoeveelheid energie geleverd. Pas daarna gaat het zonnepaneel netto energie leveren.

a In Nederland levert een doorsnee zonnepaneel gemiddeld over dag en nacht 16,2 W/m². Bereken hoeveel joule het paneel jaarlijks levert.

b Bereken na hoeveel jaar het paneel netto energie begint te leveren.

10 Esra wil zonnepanelen op het dak van haar vakantiehuis plaatsen. De opbrengst hangt behalve van het aantal en type zonnepanelen ook af van de oriëntatie (op het zuiden is het gunstigst) en de hellingshoek van het dak. Van de fabrikant van de zonnepanelen ontvangt ze een informatiebrochure met informatie over de stralingsenergie van de zon in haar vakantieoord (figuur 13).



figuur 13 De stralingsenergie van de zon per jaar als functie van de richting en de hellingshoek.

a Leg met behulp van figuur 13 uit welke hellingshoek van het dak het gunstigst is als Esra's zonnepanelen precies op het zuiden zijn gericht.

b Het dak van Esra ligt precies op het oosten en de hellingshoek is 30°.
Toon aan dat 1 m^2 zonnepaneel per jaar (ongeveer) 3,3 GJ aan stralingsenergie ontvangt.

c Esra wil zonnepanelen bestellen met een vermogen van 275 Wp en een oppervlak van 1,6 m^2. Van de invallende stralingsenergie wordt slechts een deel omgezet in elektrische energie.
Toon aan dat de zonnepanelen van Esra in optimale omstandigheden 17% van de invallende stralingsenergie in elektrische energie omzetten. Gebruik hierbij de definitie van wattpiek uit de tekst.

d In werkelijkheid wordt bij Esra (gemiddeld) 15% van de invallende stralingsenergie per jaar (3,3 GJ/m^2) omgezet in elektrische energie. Esra verbruikt gemiddeld 10 GJ elektrische energie per jaar.
Bereken hoeveel zonnepanelen Esra moet plaatsen om in haar vakantiehuisje in haar energiebehoefte te voorzien.

e Op een website leest Esra de volgende informatie:

Wat is wattpiek ook alweer?

Wattpiek (Wp) geeft aan hoeveel stroom je zonnepanelen in de beste situatie opwekken. De werkelijkheid is natuurlijk altijd anders, daarom moet je even omrekenen. In Nederland levert 1 Wp elk jaar ongeveer 3,1 MJ op.

Bron: www.essent.nl

Bereken met de gegevens van de website opnieuw hoeveel zonnepanelen Esra zou moeten plaatsen om in Nederland in haar eigen energiebehoefte te voorzien. Komt dit aantal (ongeveer) overeen met het antwoord dat je bij opdracht d hebt gevonden?

2 Elektrische energie vervoeren

LEERDOELEN

1.2.1 Je kunt uitleggen waarom op het elektriciteitsnet verschillende spanningen worden gebruikt.
1.2.2 Je kunt de kenmerken van de netspanning die het lichtnet levert noemen en toelichten.
1.2.3 Je kunt uitleggen hoe een transformator spanningen omhoog of omlaag transformeert.
1.2.4 Je kunt op basis van het aantal windingen berekenen hoeveel een transformator de spanning verhoogt of verlaagt.
1.2.5 Je kunt primaire en secundaire stroomsterkten en spanningen berekenen, uitgaand van een ideale transformator.
PLUS 1.2.6 Je kunt berekeningen uitvoeren met stroomsterkte, capaciteit en tijd.

Een uitgestrekt leidingnetwerk vervoert elektrische energie van een centrale naar de verschillende verbruikers. Tijdens dit transport wordt de spanning verschillende keren omhoog en omlaag getransformeerd.

HET ELEKTRICITEITSNET

Als er stroom door een kabel loopt, wordt een deel van de elektrische energie omgezet in warmte. Dit **energieverlies** is ongewenst: er blijft daardoor minder elektrische energie voor de eindgebruikers over. Vooral voor lange verbindingen is dat een probleem, en die zijn onvermijdelijk als je elektrische energie naar elke uithoek van Nederland wilt brengen.

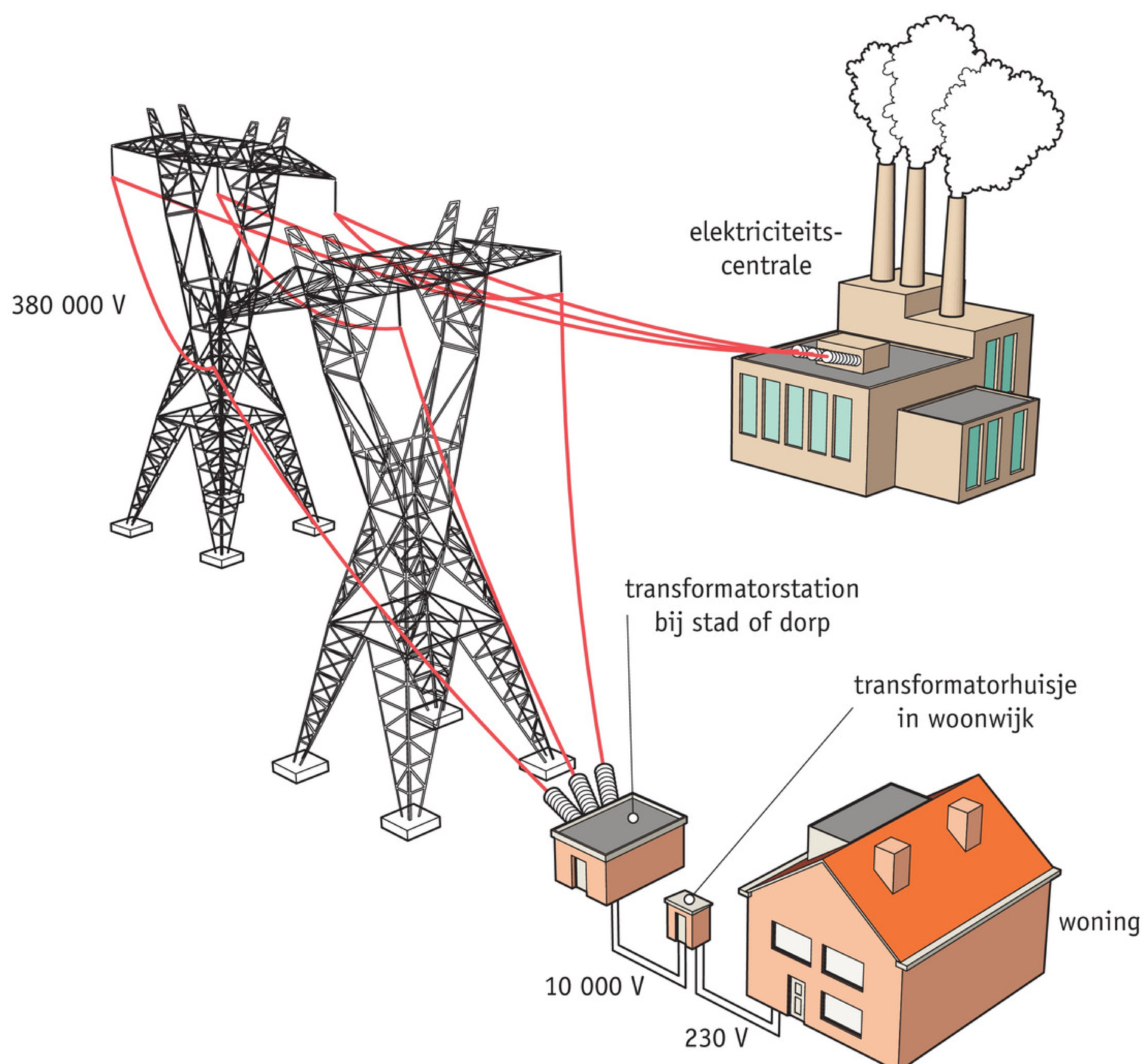
Om het energieverlies te beperken, kun je elektrische energie het best vervoeren bij een zo hoog mogelijke spanning. Hoe hoger de gebruikte spanning, des te kleiner is het energieverlies en de warmteontwikkeling in de leidingen. De spanning die de generatoren leveren wordt daarom bij de centrale omhoog getransformeerd: van bijvoorbeeld 20 kV tot maximaal 380 kV.

De hoogspanningslijnen van 380 kV zijn de snelwegen van het Nederlandse elektriciteitsnet (figuur 1). Ze verbinden alle delen van Nederland met elkaar en zorgen ook voor verbinding met het buitenland. Zo kan er met andere Europese landen in elektrische energie worden gehandeld. Er zijn ook regionale verbindingen die een lagere spanning hebben, van bijvoorbeeld 220, 150 of 110 kV.



figuur 1 Hoogspanningsmasten transporteren elektrische energie onder hoge spanning.

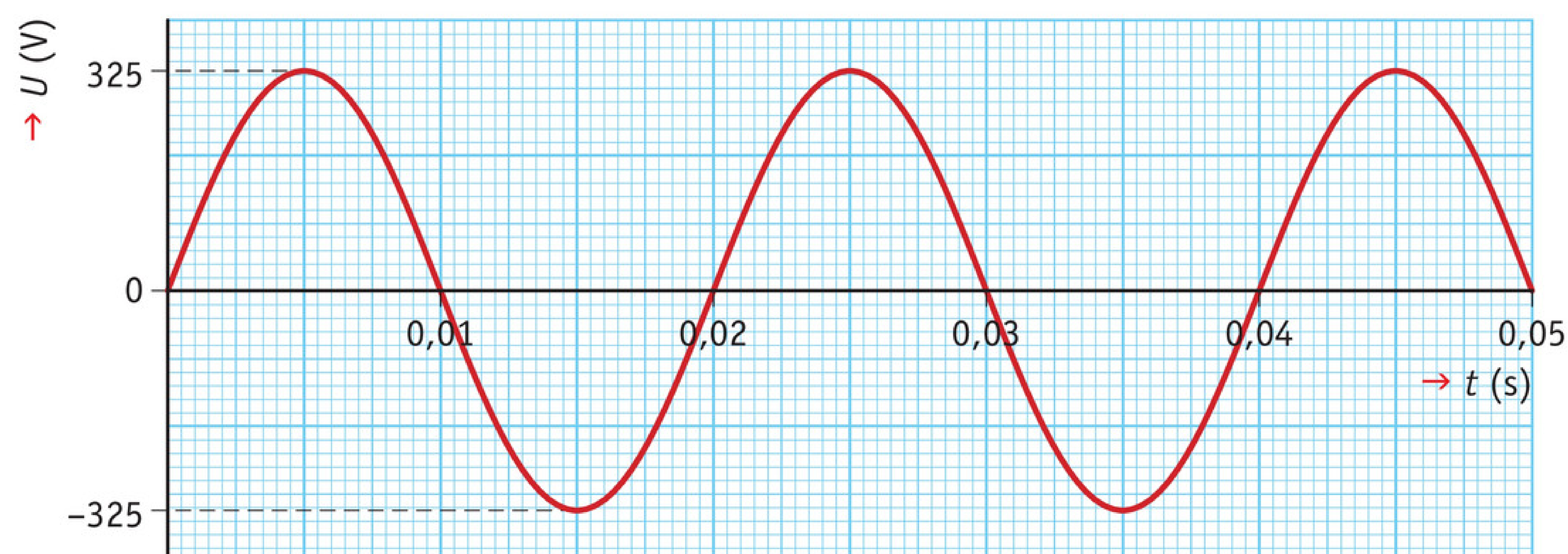
Het hoogspanningsnet vervoert de elektrische energie naar verschillende verdeelstations. Daar wordt de spanning omlaag getransformeerd naar 10 kV. Vervolgens wordt de elektrische energie via ondergrondse kabels vervoerd naar woonwijken en industrieterreinen. In elke woonwijk staan een of meer transformatorhuisjes (figuur 2). Daar wordt de spanning nog verder omlaag getransformeerd naar de **netspanning** van 230 V. Ten slotte wordt de elektrische energie naar woningen getransporteerd.



figuur 2 Het elektriciteitsnet brengt elektrische energie van de centrale naar de eindverbruiker.

DE EFFECTIEVE SPANNING

De spanning van het lichtnet gaat voortdurend op en neer, volgens een patroon dat zich vijftig keer per seconde herhaalt: van 325 V via 0 V naar −325 V en weer omhoog naar 325 V (figuur 3). De spanning van het lichtnet is een wisselspanning met een **frequentie** van 50 Hz. De negatieve waarden willen zeggen dat de **polariteit** van de spanning is omgedraaid: plus is min geworden en min plus.



figuur 3 Een wisselspanning van 50 Hz.

Het maakt voor veel apparaten niet uit of ze op de wisselspanning van het lichtnet werken of op een gelijkspanning van 230 V. Een waterkoker bijvoorbeeld produceert in beide gevallen evenveel warmte. Je zegt daarom dat de **effectieve spanning** van het lichtnet 230 V is. In de praktijk wordt 'effectieve' bijna altijd weggelaten. Iedereen zegt gewoon dat het lichtnet 'een spanning van 230 V' levert. De eerdergenoemde hoogspanningswaarden zijn ook allemaal effectieve spanningen.

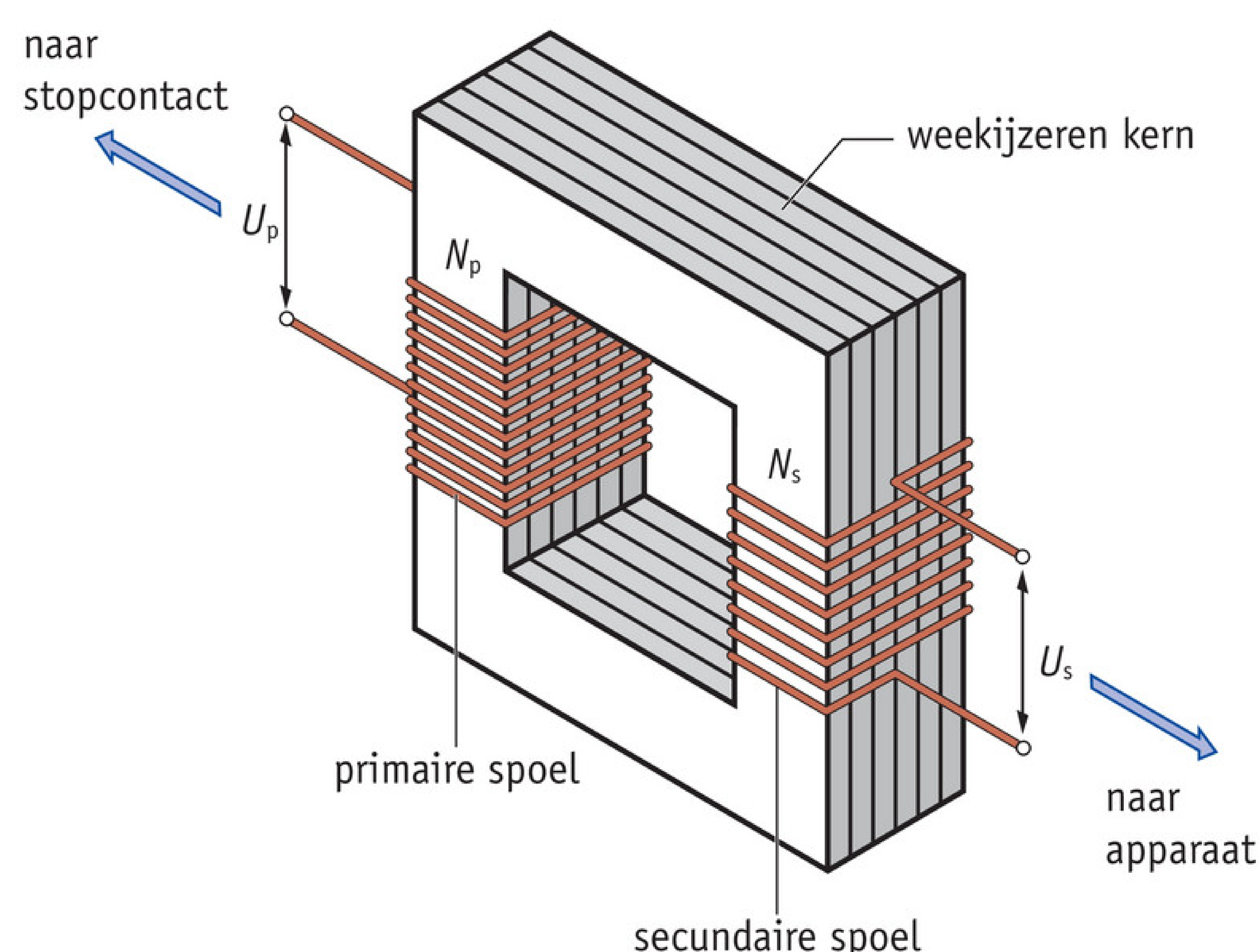
Voor veel apparaten, zoals een telefoon of een ledlamp, is de spanning van het lichtnet te hoog. Dit soort apparaten heeft een **transformator** die de spanning verder omlaagbrengt. Meestal is die transformator geen apart apparaat, maar maakt hij deel uit van de stekker of de lamp.

DE WERKING VAN EEN TRANSFORMATOR

PROEF 1

In figuur 4 zie je een eenvoudige transformator voor gebruik in huis. Het apparaat bestaat uit twee spoelen van geïsoleerd koperdraad om een weekijzeren kern. De **primaire spoel** is verbonden met het lichtnet, de **secundaire spoel** met het apparaat.

- Als de transformator in gebruik is, loopt er een wisselstroom door de primaire spoel. De primaire spoel wordt daardoor een **elektromagneet**. Doordat de stroom steeds van grootte en richting verandert, doet het opgewekte magneetveld dat ook.
- De weekijzeren kern wordt hierdoor gemagnetiseerd. De magnetisatie verandert mee met het magneetveld van de primaire spoel: honderd keer per seconde draait de richting van het magneetveld om, net als de wisselstroom door de primaire spoel.
- Het magneetveld in de secundaire spoel verandert dus ook voortdurend. Door inductie ontstaat er dan een wisselspanning tussen de uiteinden van de secundaire spoel. Dit is de spanning waarop het apparaat werkt.



figuur 4 Een transformator voor gebruik in huis (schematisch getekend).

De elektrische energie die de primaire spoel in gaat, wordt weer afgegeven door de secundaire spoel. Maar er loopt geen stroom van de primaire naar de secundaire spoel. De energie wordt vervoerd door het magneetveld. De primaire en de secundaire spoel zijn elektrisch volledig van elkaar gescheiden.

OMHOOG EN OMLAAG TRANSFORMEREN

Met een transformator kun je de spanning zowel omhoog als omlaag transformeren. Hoe de spanning verandert, hangt af van het aantal windingen N_p van de primaire spoel en van het aantal windingen N_s van de secundaire spoel:

- Als $N_s > N_p$, dan is de spanning U_s van de secundaire spoel groter dan de spanning U_p van de primaire spoel: de spanning wordt omhoog getransformeerd.
- Als $N_s < N_p$, dan is de spanning U_s van de secundaire spoel kleiner dan de spanning U_p van de primaire spoel: de spanning wordt omlaag getransformeerd.

De spanningen (U_p en U_s) verhouden zich net zo tot elkaar als het aantal windingen (N_p en N_s). Is het aantal windingen secundair 2× zo groot, dan is de secundaire spanning ook 2× zo groot, enzovoort. Er geldt dus:

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Hierin is:

- U_p, U_s de spanning in de primaire en secundaire spoel in volt (V);
- N_p, N_s het aantal windingen in de primaire en secundaire spoel. Het aantal windingen heeft geen eenheid, die kun je gewoon tellen.

VOORBEELDOPDRACHT 1

De transformator van een deurbel zet een wisselspanning van 230 V om in een wisselspanning van 12 V. De primaire spoel heeft 400 windingen.
Bereken het aantal windingen van de secundaire spoel.

gegevens primaire spoel: $U_p = 230$ V, $N_p = 400$; secundaire spoel: $U_s = 12$ V

gevraagd $N_s = ?$

uitwerking $\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s} \rightarrow \frac{230}{12} = \frac{400}{N_s}$

$230 \times N_s = 400 \times 12 = 4800$

$N_s = \frac{4800}{230} = 21$ windingen

DE IDEALE TRANSFORMATOR

Een transformator is een energieomzetter: hij zet elektrische energie met een hoge spanning om in elektrische energie met een lage spanning, of omgekeerd. Daarbij gaat er maar heel weinig energie verloren. In berekeningen kun je er vaak van uitgaan dat er helemaal geen energieverlies is. De fout die daardoor ontstaat, is in de praktijk te verwaarlozen.

Bij een **ideale transformator** (zonder energieverlies) is het opgenomen vermogen (van de primaire spoel) gelijk aan het afgestane vermogen (van de secundaire spoel).

In formulevorm:

$P_p = P_s$ of $U_p \cdot I_p = U_s \cdot I_s$

Hierin is:
- P_p, P_s het vermogen in de primaire en secundaire spoel in watt (W);
- U_p, U_s de spanning in de primaire en secundaire spoel in volt (V);
- I_p, I_s de stroomsterkte in de primaire en secundaire spoel in ampère (A).

VOORBEELDOPDRACHT 2

Een lasapparaat (figuur 5) wordt aangesloten op het lichtnet (230 V). Bij het lassen is de stroomsterkte door de primaire spoel 16 A. De secundaire spoel levert een spanning van 48 V.
Bereken de stroomsterkte in de secundaire spoel. Ga ervan uit dat de transformator in het lasapparaat ideaal is.

gegevens
primaire spoel:
$U_p = 230$ V
$I_p = 16$ A

secundaire spoel:
$U_s = 48$ V

gevraagd $I_s = ?$

uitwerking $U_p \cdot I_p = U_s \cdot I_s$

$230 \times 16 = 48 \times I_s$

$3680 = 48 \times I_s$

$I_s = \dfrac{3680}{48} = 77$ A



figuur 5 Een lasser met een lasapparaat.

PLUS ELEKTRISCHE ENERGIE OPSLAAN

Batterijen worden steeds belangrijker in het dagelijks leven. Je treft ze aan in een elektrische fiets, je smartphone, in elektrisch gereedschap en in allerlei andere gadgets. In de toekomst zullen ze een steeds grotere rol spelen bij de opslag van duurzame wind- en zonne-energie bij huizen en bedrijven. De productie van oplaadbare lithium-ionbatterijen (Li-ion) is de afgelopen jaren dan ook ongeveer elke drie jaar verdubbeld.

Een belangrijke eigenschap van een batterij is de **capaciteit**. Die geeft aan hoelang een batterij een bepaalde stroom kan leveren. De capaciteit bereken je door de geleverde stroom te vermenigvuldigen met het aantal uren dat de batterij die stroom kan leveren. De formule voor capaciteit is dus:

$C = I \cdot t$

Hierin is:
- C de capaciteit in ampère-uur of milliampère-uur (Ah of mAh);
- I de stroomsterkte in ampère of milliampère (A of mA);
- t de tijd in uur (h).

Een Li-ionbatterij (figuur 6) die je vaak in smartphones en laptops aantreft, heeft een capaciteit van enkele duizenden mAh. Een 3000 mAh-batterij kan gedurende 300 uur een stroom van 10 mA leveren, of gedurende 150 uur een stroom van 20 mA, enzovoort.



figuur 6 Je smartphone werkt op een Li-ionbatterij.

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Waarom wordt elektrische energie bij een zo hoog mogelijke spanning vervoerd?
b Leg uit wat wordt bedoeld met ‘wisselspanning met een frequentie van 50 Hz’.
c Welke eigenschappen moet een transformator hebben om de spanning te verdubbelen, bijvoorbeeld van 5 V primair naar 10 V secundair?
d Wat wordt bedoeld met ‘een ideale transformator’?

2 Francisca laadt haar mobieltje met een adapter op. Tussen de elektriciteitscentrale en haar mobieltje is de spanning verschillende keren omhoog en omlaag getransformeerd. Vul tabel 1 in. Kies bij de spanningen uit: *5 V – 230 V – 10 kV – 380 kV*

tabel 1 Vier keer de spanning transformeren.

de transformator	transformeert de spanning		
	omhoog / omlaag	van	naar
in de elektriciteitscentrale	omhoog	20 kV	
in het transformatorstation buiten de stad of het dorp			
in het transformatorhuisje in de stad of het dorp			
in de adapter van haar mobieltje			

TOEPASSING

3 De Amerikaanse Suzy is verhuisd naar Nederland. Ze wil haar koffiemachine uit de VS aansluiten op het Nederlandse lichtnet. Met dat doel kocht ze ‘*a voltage converter which converts the European voltage – a whopping 230 V – to the standard USA mains voltage*’ (figuur 7).
De transformator in de omvormer heeft een secundaire spoel met 500 windingen.
Bereken het aantal windingen van de primaire spoel.



figuur 7 Het typeplaatje van Suzy’s koffiemachine.

4 Netta heeft drie spoelen: spoel A met 100 windingen, spoel B met 200 windingen en spoel C met 400 windingen. Ze kan een eenvoudige transformator maken door twee van de spoelen over een weekijzeren kern te plaatsen.
Met welke combinatie van spoelen kan Netta een wisselspanning van 6 V:

a omhoog transformeren tot 12 V (twee mogelijkheden)?
b omhoog transformeren tot 24 V?
De primaire spoel is spoel *A* / *B* / *C*, de secundaire spoel is spoel *A* / *B* / *C*.
c omlaag transformeren tot 3 V (twee mogelijkheden)?
d omlaag transformeren tot 1,5 V?
De primaire spoel is spoel *A* / *B* / *C*, de secundaire spoel is spoel *A* / *B* / *C*.

5 Boudewijn heeft een spanningsbron die alleen een spanning van 6,0 V levert. Voor de proef die hij wil doen, heeft hij een hogere spanning nodig. Daarom besluit hij om zelf een transformator te maken. Hij heeft daarvoor de keuze uit vier spoelen met respectievelijk 200, 300, 400 en 600 windingen.

a Met welke combinatie van spoelen kan Boudewijn de spanning het verst omhoogbrengen?

Hij gebruikt voor de primaire spoel .... windingen en voor de secondaire spoel .... windingen.

b Bereken hoe groot de secundaire spanning wordt als hij die combinatie gebruikt.
c Op de spanningsbron zit een schakelaar met twee standen:
= (gelijkspanning) en ~ (wisselspanning)
Leg uit welk soort spanning Boudewijn voor zijn transformator moet kiezen.

★ 6 Bij het lichtnet is de maximale waarde van de wisselspanning 325 V en de effectieve waarde 230 V. Voor de omrekening geldt: $U_{eff} = x \cdot U_{max}$

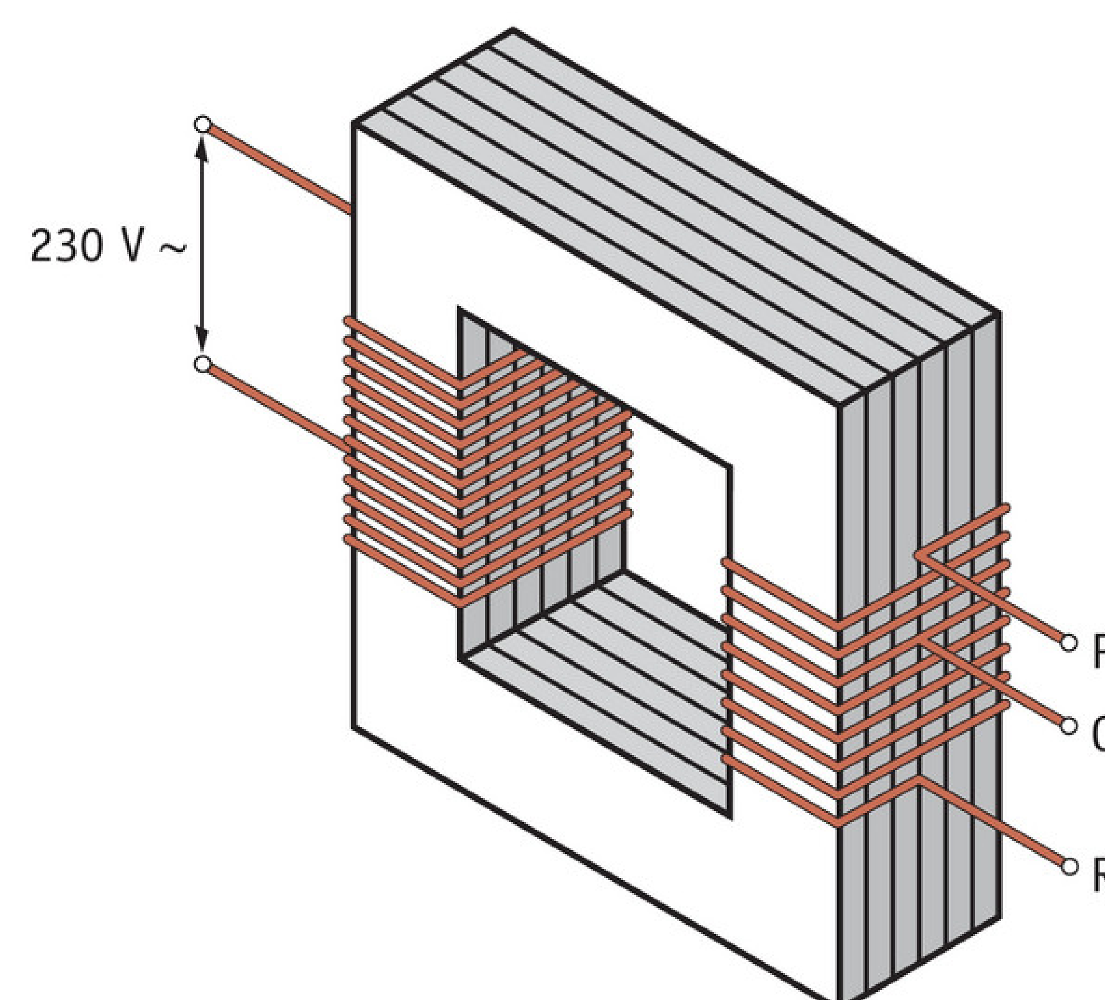
a Bereken *x*.
b Een lampje levert 6,0 W als het brandt op een gelijkspanning van 12 V. Je wilt het lampje laten branden op een wisselspanning.
Hoe groot moet U_{eff} dan zijn?
c Bereken U_{max} van de wisselspanning.

7 Transformatoren worden vaak gebruikt als ‘veiligheidstransformator’. Zo’n transformator zet de spanning van het lichtnet (230 V) om in een veilige laagspanning.

a De beide spoelen van een veiligheidstransformator moeten goed van elkaar zijn gescheiden door isolerend materiaal.
Leg uit waarom dat nodig is.
b Noteer twee situaties waarin een veiligheidstransformator wordt toegepast.
c Een veiligheidstransformator transformeert de spanning van het lichtnet omlaag naar 12 V. De primaire spoel heeft 115 windingen.
Bereken het aantal windingen van de secundaire spoel.

8 Een elektrische deurbel werkt op de laagspanning van een beltransformator. In figuur 8 is zo'n beltransformator schematisch getekend. De primaire spoel is aangesloten op het lichtnet (230 V). Aan de secundaire kant heb je drie aansluitmogelijkheden: 3 V, 5 V of 8 V.

- **a** Hoe groot zal de spanning zijn tussen de aansluitpunten P en Q: 3 V, 5 V of 8 V? Licht je antwoord toe.
- **b** De primaire spoel heeft 800 windingen.
  Bereken het (totale) aantal windingen van de secundaire spoel.
- **c** Een bel wordt aangesloten op de aansluitpunten Q en R. Als iemand aanbelt, loopt er een stroom van 0,42 A door de secundaire stroomkring.
  Bereken de stroomsterkte door de primaire spoel.
  Neem daarbij aan dat de transformator ideaal is.

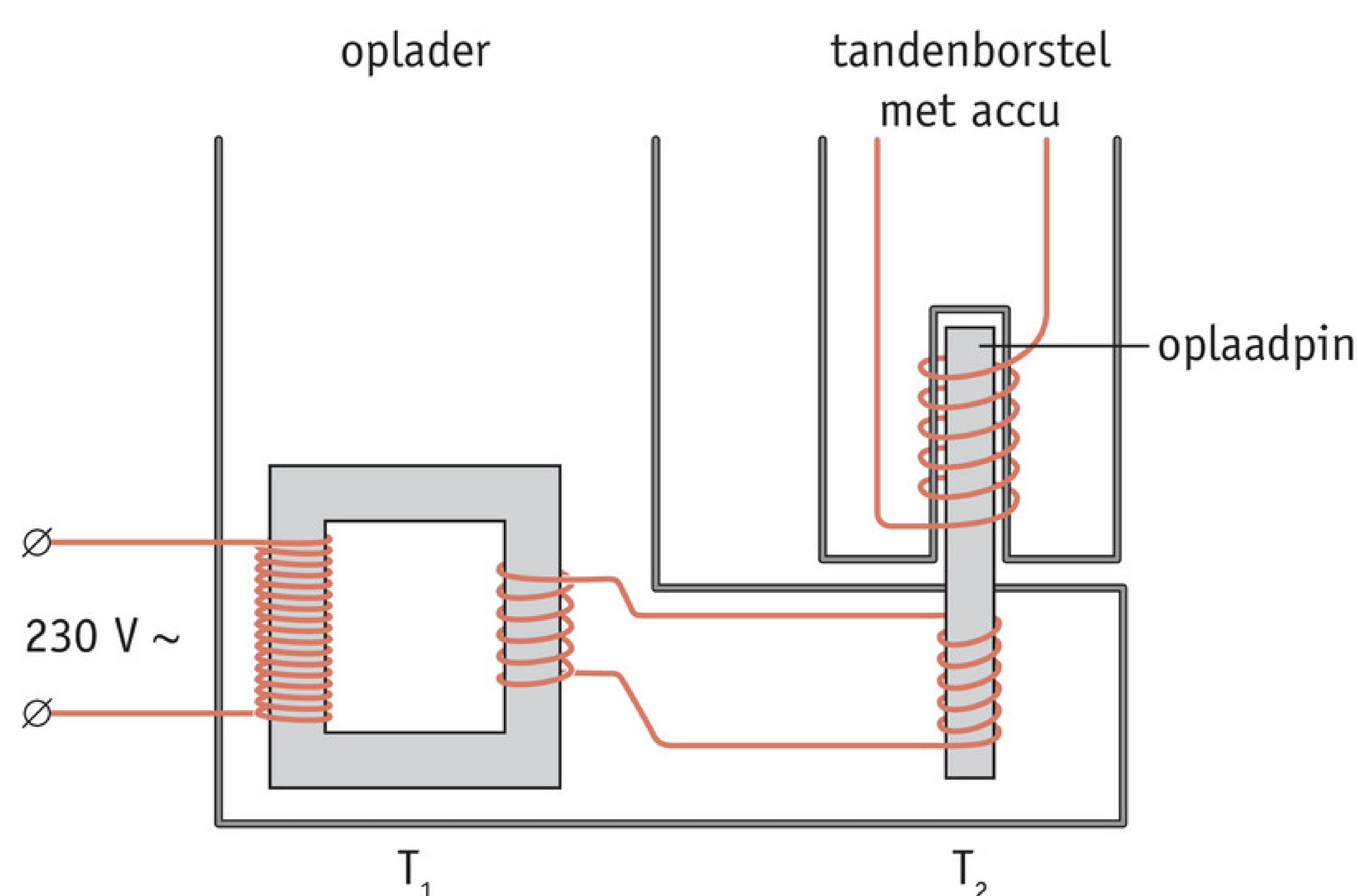


figuur 8 Een beltransformator.

★ 9 Een elektrische tandenborstel wordt draadloos opgeladen (figuur 9). Er is geen elektrisch contact tussen de oplader en de tandenborstel. In figuur 10 is getekend hoe dat werkt. De oplader maakt gebruik van twee transformatoren: T_1 en T_2. De windingen van de spoelen zijn schematisch aangegeven, het werkelijke aantal windingen is groter.



figuur 9 Een elektrische tandenborstel.



figuur 10 Het schakelschema van een oplader met elektrische tandenborstel.

- **a** Leg stap voor stap uit hoe de elektrische energie van het lichtnet in de tandenborstel terechtkomt.
- **b** Transformator T_1 transformeert de spanning van het lichtnet van 230 V naar 2,4 V. De stroomsterkte door de secundaire spoel is maximaal 0,45 A.
  Bereken hoe groot de stroomsterkte door de primaire spoel dan is. Neem daarbij aan dat de transformator ideaal is.
- **c** Transformator T_2 geeft de spanning alleen door, maar maakt deze niet hoger of lager.
  Hoe is dat mogelijk?
- **d** Om een accu op te laden heb je een gelijkspanning nodig. Met een wisselspanning lukt dat niet. De wisselspanning wordt daarom met een gelijkrichter (een elektronische schakeling) omgezet in een gelijkspanning voordat ze naar de accu gaat.
  Leg uit waar die gelijkrichter zich bevindt: in de oplader of in de tandenborstel zelf?

 Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS ELEKTRISCHE ENERGIE OPSLAAN

10 In figuur 11 zie je vier voorbeelden van powerbanks die een bepaalde stroomsterkte leveren. Elke powerbank kan de gevraagde stroom gedurende een bepaalde tijd leveren. Zet de powerbanks op volgorde van de kortste tot de langste tijd. Doe dit zoveel mogelijk op basis van redeneren en leg uit hoe je de volgorde hebt bepaald.

figuur 11 Vier voorbeelden van powerbanks die een stroomsterkte leveren.



11 In draadloze oordopjes (figuur 12) zitten kleine batterijen. In de advertentie staat: ‘de lithium-poly 60 mAh batterij is een hoge-capaciteitsbatterij en biedt 4,0 uur beltijd of muziek’.

a Bereken de stroomsterkte in deze oordopjes als je muziek luistert.

b Als je de oordopjes oplaadt, duurt dat gelukkig minder dan 4,0 uur. De stroom die dan door de oordopjes loopt is 35 mA. Bereken de oplaadtijd in minuten.



figuur 12 Draadloze oordopjes.

12 Als je zonnepanelen op je dak hebt, kun je de opgewekte energie aan het elektriciteitsnet leveren, maar je kunt er ook een batterij mee opladen. Het Amerikaanse bedrijf Tesla heeft daarvoor de Powerwall ontwikkeld (figuur 13). Deze batterij slaat de overdag opgewekte zonne-energie op, zodat je die ’s avonds kunt gebruiken.
Tesla geeft bij de productspecificaties van de Powerwall de hoeveelheid energie die je in de batterij kunt opslaan: 13,5 kWh. Op basis hiervan kun je de capaciteit berekenen.

a Laat op basis van de twee formules voor vermogen zien dat geldt: $E = U \cdot I \cdot t$

b Laat zien dat je de capaciteit kunt berekenen met: $C = \frac{E}{U}$

c Bereken de capaciteit van een Powerwall.



figuur 13 Een Powerwall in huis.

3 Elektriciteit in huis

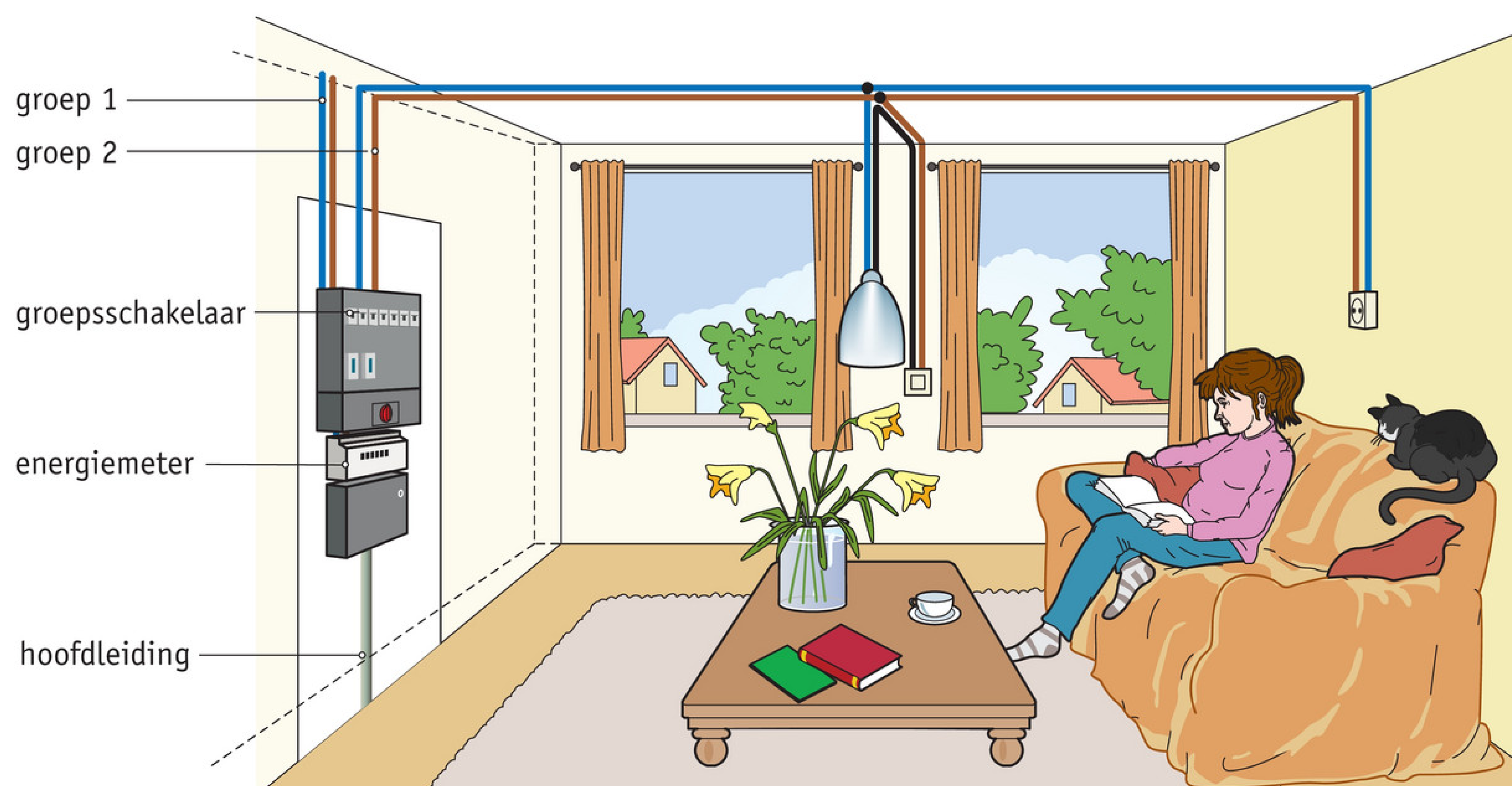
LEERDOELEN

1.3.1 Je kunt de opbouw van de huisinstallatie beschrijven en de verschillende onderdelen benoemen.
1.3.2 Je kunt de totale stroomsterkte en het totale opgenomen vermogen in een groep berekenen.
1.3.3 Je kunt de verschillende draden in een huisinstallatie beschrijven en hun functie toelichten.
1.3.4 Je kunt berekeningen maken met het verband tussen vermogen, spanning en stroomsterkte.
1.3.5 Je kunt het verbruik van elektrische energie in huis berekenen en de uitkomst weergeven in kWh of MJ.
PLUS 1.3.6 Je kunt uitleggen hoe de installatieautomaat werkt.

De lijst met activiteiten waarvoor je elektrische energie nodig hebt, is lang. Gamen, informatie zoeken, koffiezetten, muziek luisteren, douchen, tv-kijken, de was doen: als de elektriciteit uitvalt, is dat allemaal niet meer mogelijk.

DE HUISINSTALLATIE

Door de muren en plafonds van een woonhuis loopt een netwerk van elektriciteitsdraden: de **huisinstallatie**. Daardoor kun je overal in huis gebruikmaken van elektrische energie. In figuur 1 zie je hoe de hoofdleiding bij de voordeur het huis binnenkomt. Na de energiemeter splitst de leiding zich in vier tot zes parallelle groepen. In figuur 1 zijn voor de duidelijkheid maar twee van die groepen getekend.



figuur 1 Een deel van de huisinstallatie.

Een groep bestaat uit een aantal parallel geschakelde vertakkingen die elk naar één stopcontact of één lichtpunt leiden. Dat betekent dat er op elk lichtpunt en elk stopcontact een spanning staat van 230 V.

De spanning U is dus overal in de groep even groot:

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = ... = 230 \text{ V}$$

Hierin is:
- U de spanning over de totale huisinstallatie in volt (V);
- U_1, U_2, U_3 de spanning over de eerste, tweede en derde vertakking in volt (V).

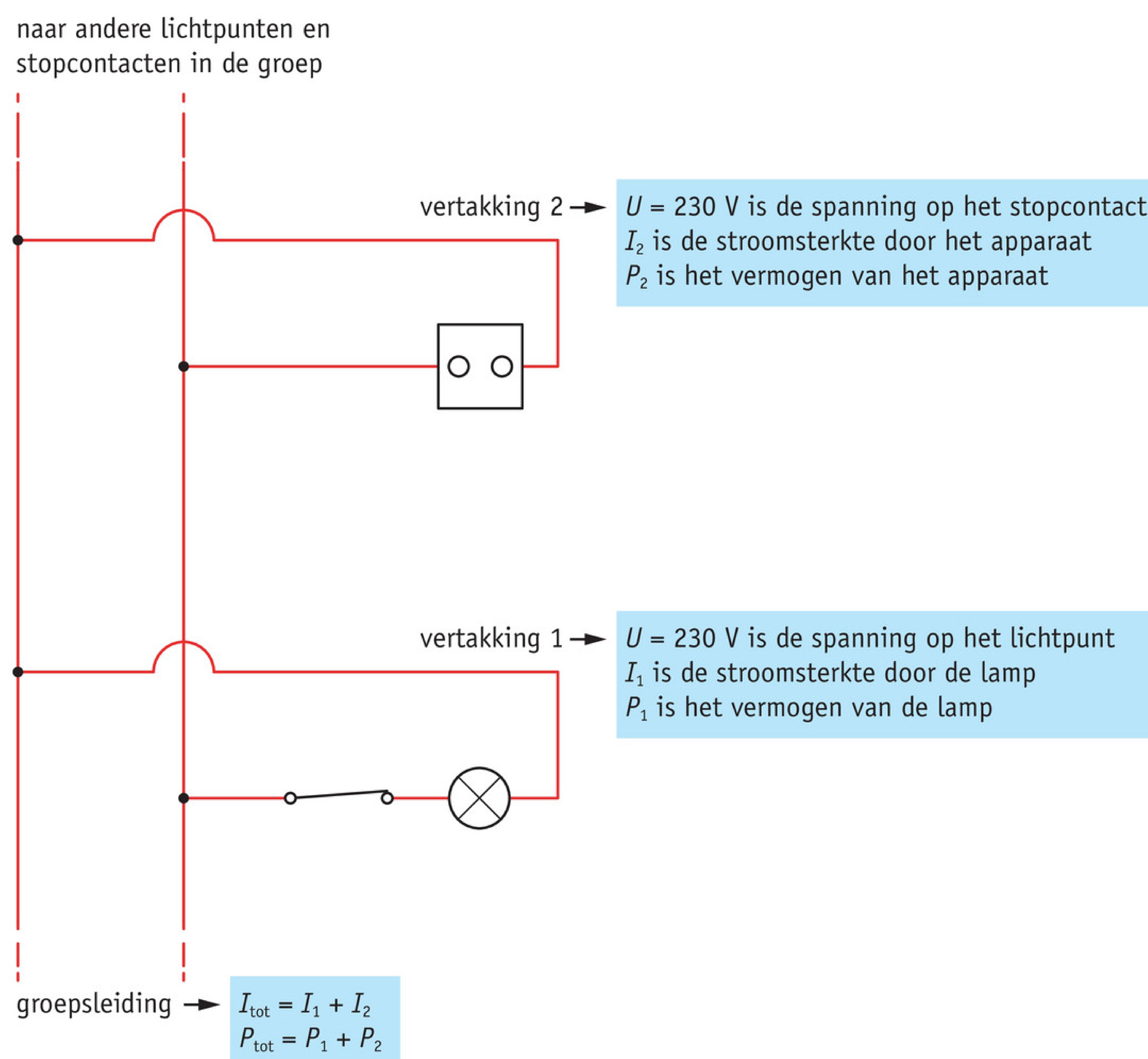
Elke groep heeft een eigen **groepsschakelaar** waarmee je de spanning van stopcontacten en lichtpunten kunt uitschakelen. Je kunt dan veilig een reparatie uitvoeren of een extra stopcontact aansluiten.

Als een apparaat aanstaat, loopt er stroom door de vertakking waarop het apparaat is aangesloten. Hoe groter het vermogen van het apparaat is, des te groter is de stroomsterkte. Als je de stroomsterkten in alle takken bij elkaar optelt, vind je de totale stroomsterkte I_{tot} in de groep. In formulevorm:

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3 + ...$$

Hierin is:
- I_{tot} de totale stroomsterkte door een groep in ampère (A);
- I_1, I_2, I_3 de stroomsterkte door de eerste, tweede en derde vertakking in ampère (A).

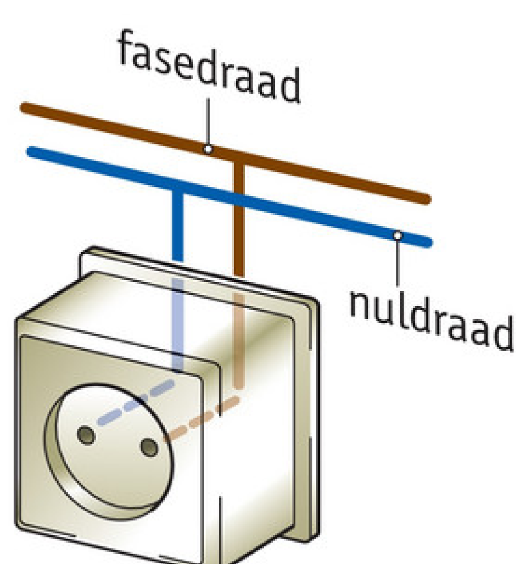
Zoals je ziet krijgt elke vertakking een eigen nummer. Door vertakking 1 loopt I_1, door vertakking 2 loopt I_2, enzovoort (figuur 2).



figuur 2 Alle lichtpunten en stopcontacten in een groep zijn parallel geschakeld.

EEN APPARAAT AANSLUITEN

De meeste apparaten sluit je met een stekker op het lichtnet aan. Als je de stekker in een stopcontact steekt, maken de pootjes contact met twee draden van de huisinstallatie (figuur 3). Deze draden hebben een kern van massief koper met daaromheen een isolatielaag van pvc (een soort kunststof). De bruine draad noem je de **fasedraad** en de blauwe draad de **nuldraad**.

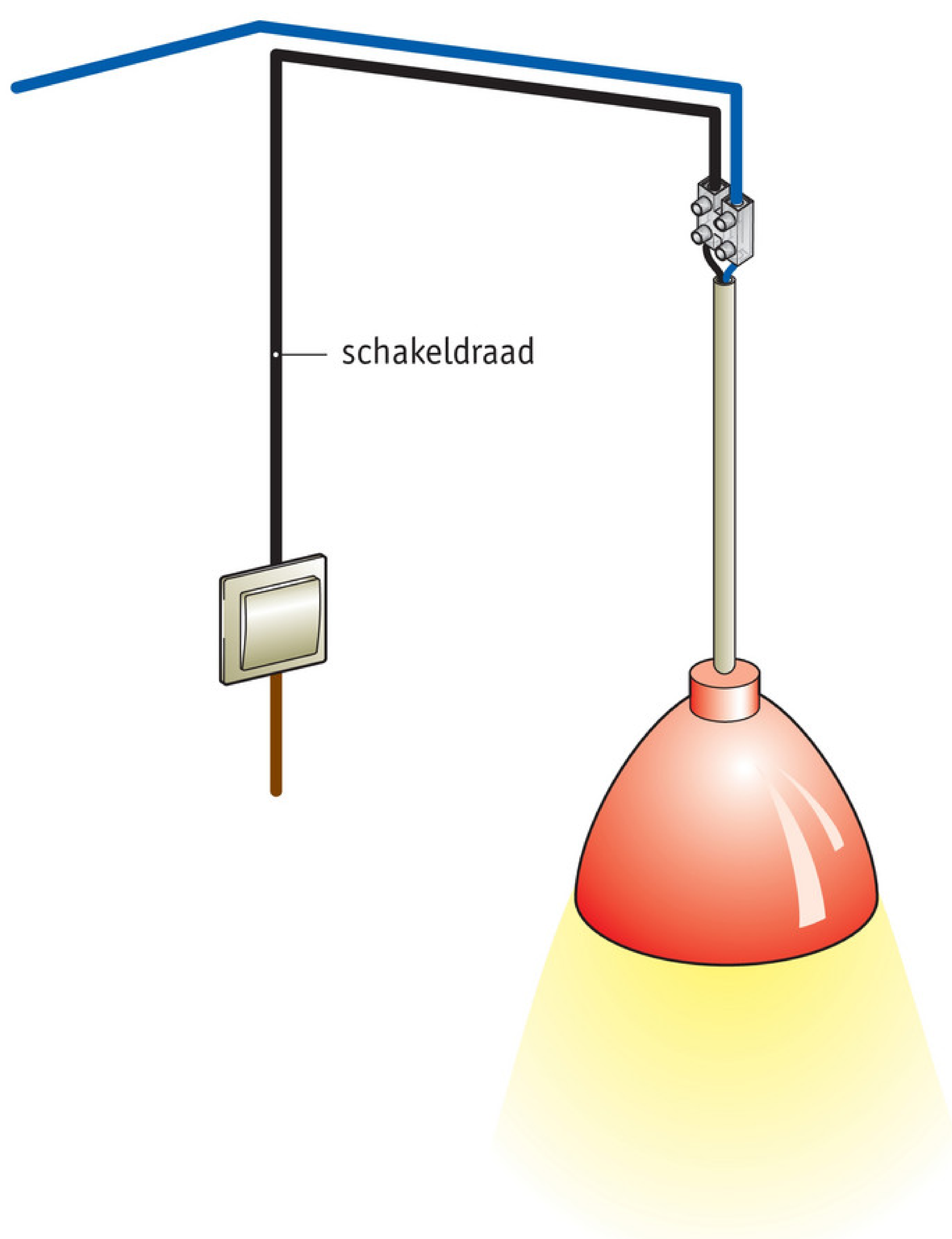


figuur 3 Zo wordt een stopcontact aangesloten.

Op de (bruine) fasedraad staat een wisselspanning van 230 V. Je moet het koper van deze draad niet aanraken. Als je dat wel doet, loopt er stroom door je lichaam en krijg je een schok. Op de (blauwe) nuldraad staat geen spanning. Deze draad maakt alleen de stroomkring af die terugloopt naar de groepenkast.

Als je de nuldraad aanraakt, voel je als het goed is niets. Toch moet je met een blauwe draad ook oppassen: iemand kan de bruine en de blauwe draad per ongeluk hebben omgewisseld. Schakel daarom altijd eerst de spanning uit voordat je een draad vastpakt.

In figuur 4 is getekend hoe een hanglamp wordt aangesloten. Naar een schakelaar loopt een bruine fasedraad. Van de schakelaar naar de lamp loopt een zwarte draad: de **schakeldraad**. Op de schakeldraad staat alleen spanning als de schakelaar in de AAN-stand staat. Als de schakelaar op UIT staat, kan er geen spanning bij de lamp komen. De tweede draad waar een lamp op is aangesloten is een blauwe nuldraad.



figuur 4 Zo wordt een lamp aangesloten.

HET VERMOGEN VAN EEN APPARAAT

Op elk elektrisch apparaat staat het vermogen vermeld, meestal samen met allerlei andere gegevens. Veel apparaten hebben een variabel vermogen, zoals een mixer met verschillende standen. In dat geval staat op het apparaat altijd de maximale waarde vermeld. Als je de mixer in figuur 5 op de hoogste stand zet, verbruikt hij 175 joule elektrische energie per seconde (175 W = 175 J/s). Op een lagere stand is het vermogen minder groot.

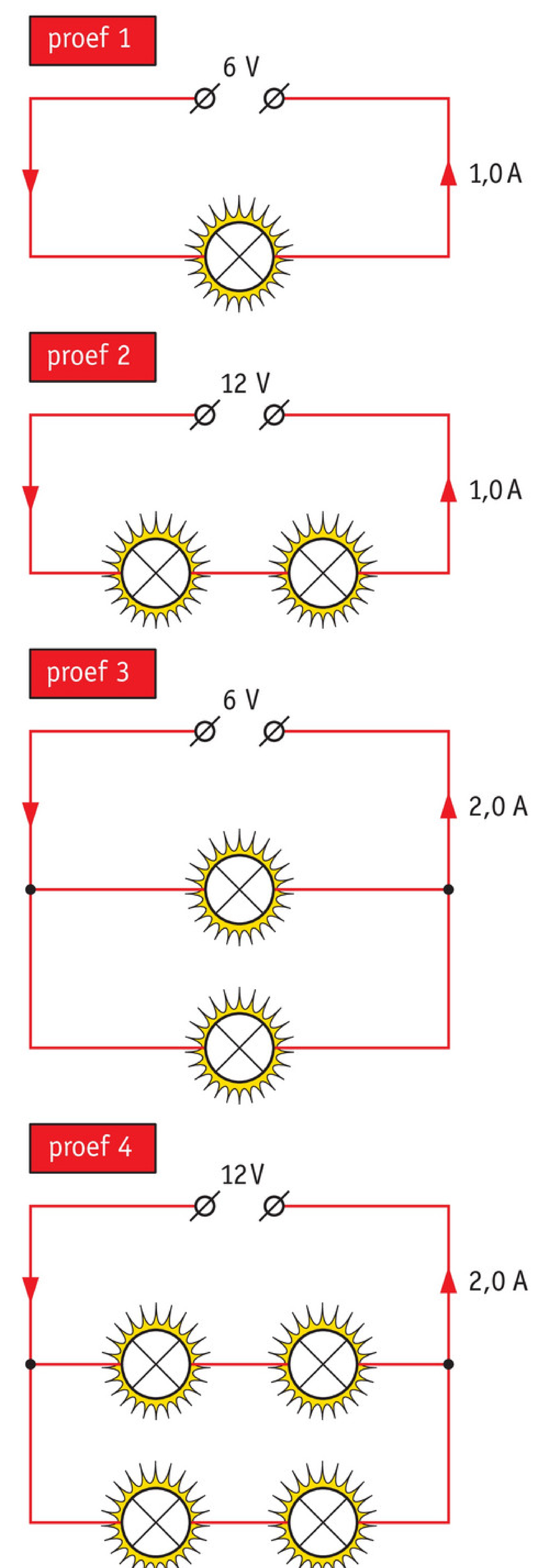




figuur 5 Een mixer met een maximaal vermogen van 175 W.

Het vermogen van een apparaat hangt af van twee factoren: de spanning (over het apparaat) en de stroomsterkte (door het apparaat). Dat dit zo is, kun je nagaan door proeven te doen zoals in figuur 6.

- In proef 1 brandt één lampje op een spanning van 6,0 V. De stroomsterkte door het lampje is dan 1,0 A.
- In proef 2 zijn twee lampjes in serie aangesloten. Om de twee lampjes elk even fel te laten branden als het lampje in proef 1, moet je de spanning verhogen tot 12 V. Over elk lampje staat dan een spanning van 6,0 V. Je ziet: als de spanning verdubbelt, verdubbelt het vermogen ook.
- In proef 3 zijn twee lampjes parallel geschakeld. De spanningsbron is weer ingesteld op 6,0 V. Door elk lampje loopt dan een stroom van 1,0 A, zodat ze elk even fel branden als het lampje in proef 1. Door de draad naar de batterij loopt dan 2,0 A. Je ziet: als de totale stroomsterkte verdubbelt tot 2,0 A, verdubbelt het vermogen ook.
- In proef 4 zijn twee sets, van twee in serie aangesloten lampjes, parallel geschakeld. De spanningsbron is ingesteld op 12 V. Door elk lampje loopt een stroom van 1,0 A, zodat de lampjes even fel branden als in proef 1. Door de draad naar de batterij loopt dan 2,0 A. Je ziet dat, als de spanning en de stroomsterkte verdubbelen, het vermogen vier keer groter wordt.



figuur 6 Het vermogen hangt af van de spanning en de stroomsterkte.

Uit dit soort proeven blijkt dat het vermogen afhangt van de spanning én van de stroomsterkte. Je kunt het elektrische vermogen daarom berekenen met de formule:

$$P = U \cdot I$$

Hierin is:

- P het vermogen in watt (W);
- U de spanning in volt (V);
- I de stroomsterkte in ampère (A).

HET TOTALE VERMOGEN

De apparaten die op een groep zijn aangesloten staan bijna nooit allemaal tegelijk aan. Je kunt het totale vermogen P_{tot} (van de apparaten die aanstaan) berekenen met de formule:

$$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3 + ...$$

Hierin is:

- P_{tot} het totale vermogen van een groep in watt (W);
- P_1, P_2, P_3 het vermogen van het eerste, tweede en derde aangesloten apparaat in watt (W).

Als een apparaat van 15 W en een apparaat van 40 W tegelijk aanstaan, is het totale vermogen dus 55 W. Dat is logisch als je bedenkt dat 1 W overeenkomt met 1 J/s. Als het ene apparaat 15 J/s verbruikt en het andere 40 J/s, kom je in totaal uit op 55 J/s, oftewel 55 W.

Met enig rekenwerk kun je nog een tweede formule voor P_{tot} afleiden:

$$\begin{aligned} P_{tot} &= P_1 + P_2 + P_3 + ... \\ &= U \cdot I_1 + U \cdot I_2 + U \cdot I_3 + ... \\ &= U \cdot (I_1 + I_2 + I_3 + ...) \\ &= U \cdot I_{tot} \end{aligned}$$

Je kunt het totale vermogen dus ook berekenen door de netspanning (230 V) te vermenigvuldigen met de totale stroomsterkte:

$$P_{tot} = U \cdot I_{tot}$$

Hierin is:

- P_{tot} het totale vermogen van een groep in watt (W);
- U de spanning van het lichtnet in volt (V);
- I_{tot} de totale stroomsterkte door een groep in ampère (A);

VOORBEELDOPDRACHT 1

Op één groep van een huisinstallatie zijn de volgende apparaten aangesloten:

- een magnetron van 800 W
- een waterkoker van 2000 W
- een afzuigkap van 150 W
- zes ledlampen van elk 3,0 W

Bereken de totale stroomsterkte in de groep.

gegevens
$P_1 = 800$ W
$P_2 = 2000$ W
$P_3 = 150$ W
$P_4 = 6 \times 3{,}0 = 18$ W
$U = 230$ V

gevraagd
$I_{tot} = ?$

uitwerking
$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$
$P_{tot} = 800 + 2000 + 150 + 18 = 2968$ W
$I_{tot} = \frac{P_{tot}}{U} = \frac{2968}{230} = 13$ A

ENERGIE METEN IN KWH

PROEF 2+3

Ook al is de joule de officiële eenheid van energie, toch staat er een andere eenheid op de energierekening: het kilowattuur (kWh). Dezelfde eenheid zie je ook staan op de meter die het verbruik van elektrische energie in huis meet. Zo'n meter wordt daarom een **kWh-meter** of **energiemeter** genoemd. Als je in de formule $E = P \cdot t$ het vermogen P invult in kW en de tijd t in h, vind je het energieverbruik E in kWh.

De kWh is een verouderde eenheid die eigenlijk vervangen zou moeten worden door de joule. Je kunt het energieverbruik net zo gemakkelijk meten in MJ als in kWh. Toch houden energiebedrijven vast aan de kWh, omdat al hun systemen daarop zijn ingesteld. Zelfs nu alle kWh-meters in Nederland geleidelijk worden vervangen door 'slimme' energiemeters, blijft de kWh gewoon in gebruik (figuur 7).

Omdat er twee eenheden naast elkaar bestaan, zul je af en toe een hoeveelheid energie moeten omrekenen van kWh naar J of omgekeerd. 1 kWh is gelijk aan 3,6 MJ. Reken zelf maar na: als een apparaat van 1 kW (= 1000 W) precies 1 uur (= 3600 s) aanstaat, verbruikt het:

$E = P \cdot t$	$E = P \cdot t$
E = 1 kW × 1 h	E = 1000 W × 3600 s
E = 1 kWh	$E = 3{,}6 \cdot 10^6$ J = 3,6 MJ



figuur 7 Ook een 'slimme' energiemeter gebruikt nog steeds de kWh.

VOORBEELDOPDRACHT 2

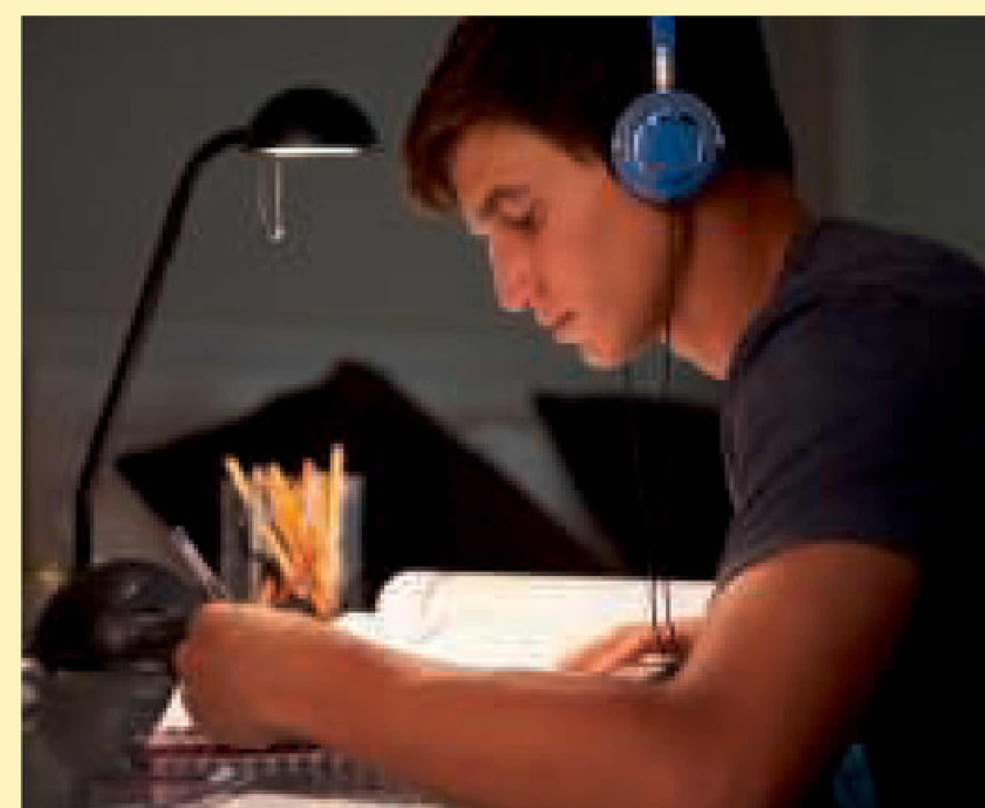
Hugo schat dat zijn bureaulamp (6,0 W) in een maand ongeveer 60 uur brandt (figuur 8). Bereken:

- hoeveel elektrische energie de lamp in 60 uur verbruikt;
- hoeveel die elektrische energie kost. 1 kWh kost € 0,23.

gegevens P = 6 W = 0,006 kW
t = 60 h

gevraagd E = ?

uitwerking $E = P \cdot t$ = 0,006 × 60 = 0,36 kWh
prijs: 0,36 × 0,23 = € 0,08

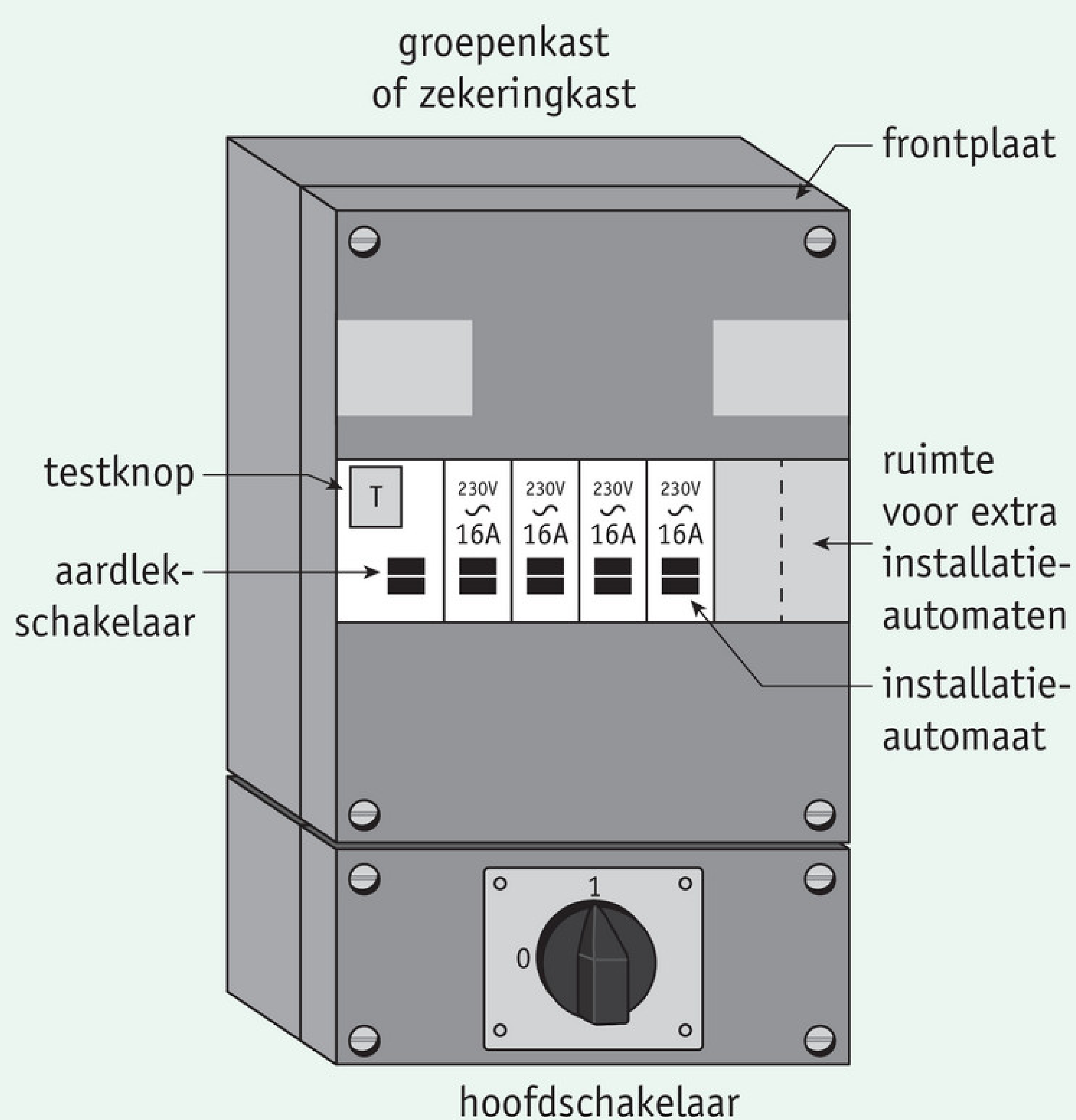


figuur 8 Hugo's bureaulamp.

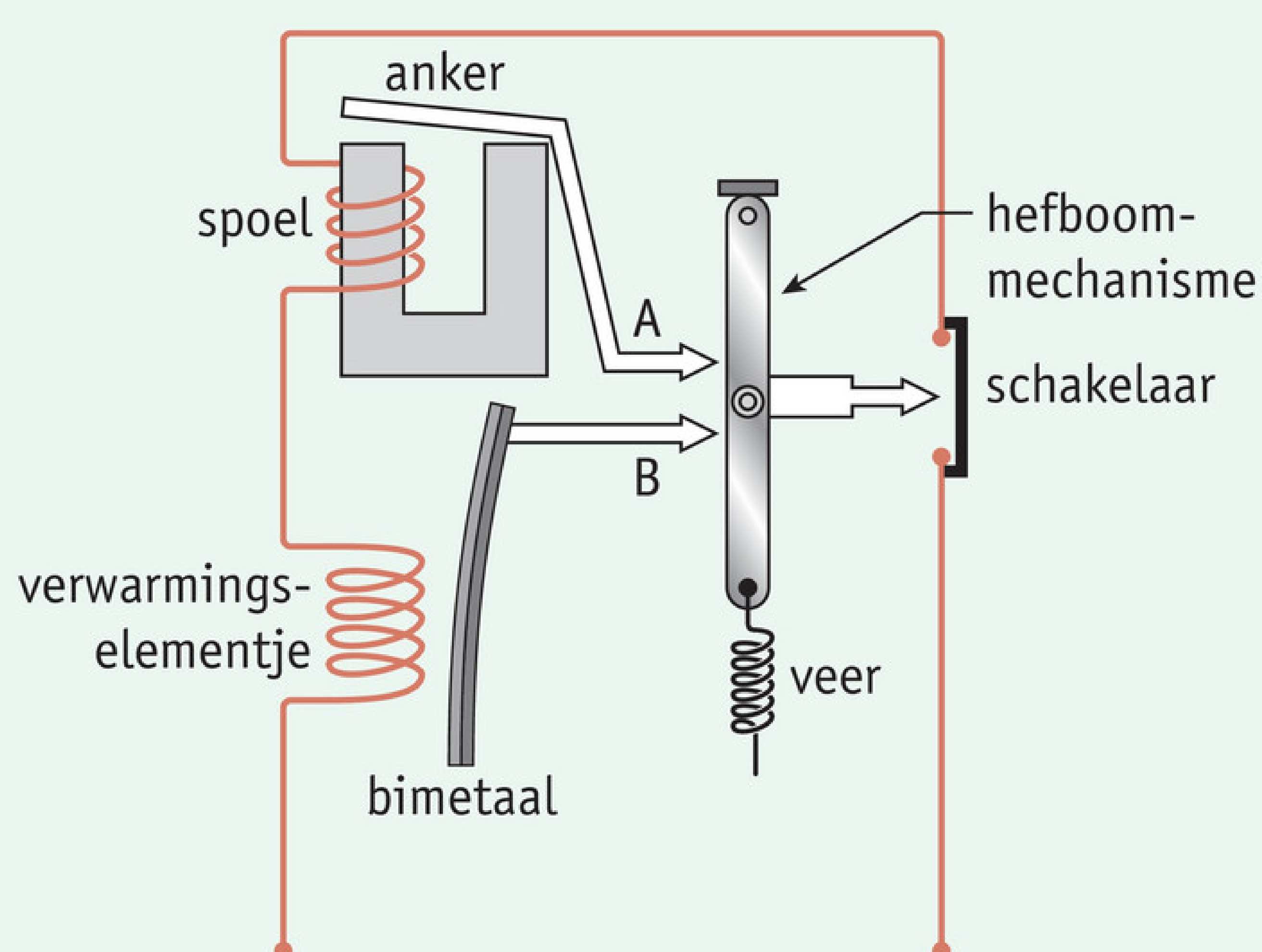
PLUS INSTALLATIEAUTOMAAT

Elke groep in je huis heeft niet alleen een eigen groepsschakelaar, maar ook een installatieautomaat (figuur 9). Als de stroom in een groep te groot wordt, is dat gevaarlijk, omdat er in de draden te veel warmte wordt ontwikkeld. De installatieautomaat zorgt er dan voor dat de spanning van die groep automatisch wordt uitgeschakeld. In de meeste huizen vind je installatieautomaten van 16 A.

Figuur 10 is een schematische tekening van het binnenwerk van een installatieautomaat. In een groep wordt de stroom automatisch uitgeschakeld als er via het hefboommechanisme tegen de schakelaar wordt geduwd. Deze gaat dan open, waardoor de stroomkring wordt onderbroken.



figuur 9 Installatieautomaten voor elke groep in je huis.

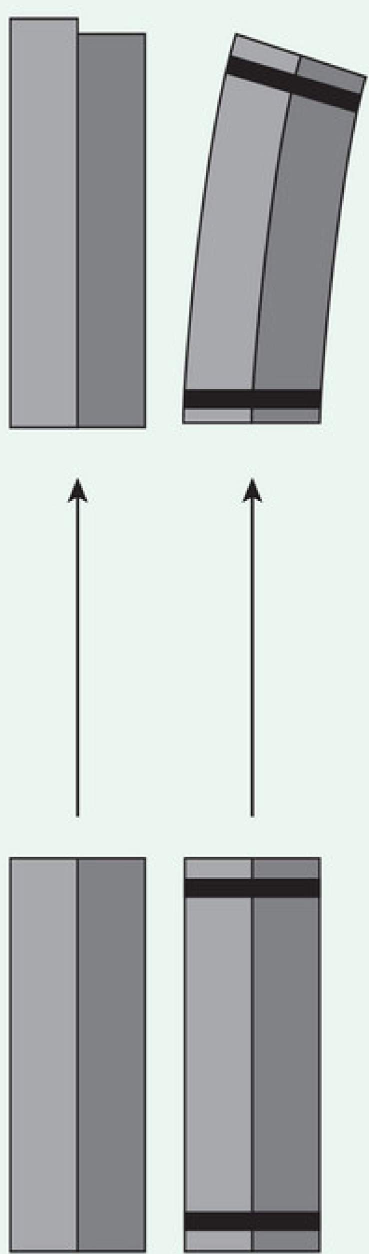


figuur 10 Schematische tekening van het binnenwerk van een installatieautomaat.

Het hefboommechanisme kan op twee manieren worden geactiveerd:

1 Linksboven in figuur 10 zie je een spoel en een U-vormige weekijzeren kern. Als er een stroom door de spoel loopt, dan werkt deze als een elektromagneet. Bij een zeer grote stroom wordt het anker naar beneden getrokken, waardoor pijl A tegen het hefboommechanisme duwt.

2 Het verwarmingselementje links onder in de figuur verwarmt een bimetaal. Dat bestaat uit twee metalen strips die stevig aan elkaar zijn bevestigd. Bij kamertemperatuur zijn de strips even lang, maar het ene metaal zet bij verhitting meer uit dan het andere. Daardoor trekt het bimetaal krom (figuur 11). Bij warmte als gevolg van een te grote stroom duwt pijl B tegen het hefboommechanisme.



figuur 11 Een bimetaal dat niet vastzit (boven) en wel vastzit (onder). Links zie je de metalen bij kamertemperatuur, rechts bij hogere temperatuur.

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Met welke twee formules kun je de totale stroomsterkte in een groep berekenen?
b Wat zijn de verschillen tussen een fasedraad, een nuldraad en een schakeldraad?
c Hoe kan het dat een apparaat met een klein vermogen soms verrassend veel energie verbruikt?
d Door welke twee factoren wordt het vermogen van een elektrisch apparaat bepaald?
e Welk instrument meet hoeveel elektrische energie er in huis wordt verbruikt?

2 In tabel 1 zie je een overzicht van grootheden en eenheden die in dit hoofdstuk voorkomen. Vermeld zijn de officiële wetenschappelijke eenheden, ook wel SI-eenheden genoemd.

a Noteer de ontbrekende woorden en letters in de tabel.

tabel 1 Grootheden en eenheden.

grootheid	symbool	eenheid	symbool
			A
	U		
vermogen			
		seconde	
			J

b Welke twee eenheden worden in dit hoofdstuk veel gebruikt, maar ontbreken in tabel 1?
c Waarom moet je ook met deze eenheden leren werken, terwijl ze niet de officiële wetenschappelijke eenheden zijn?

TOEPASSING

3 Een hanglamp wordt meestal aangesloten op een lichtpunt in het plafond. In een doe-het-zelfboek wordt uitgelegd hoe je daarbij te werk moet gaan (figuur 12).

a De zwarte draad die in de tekst wordt genoemd, is een ....

b De andere aansluitdraad heet de .... en de kleur daarvan is ....

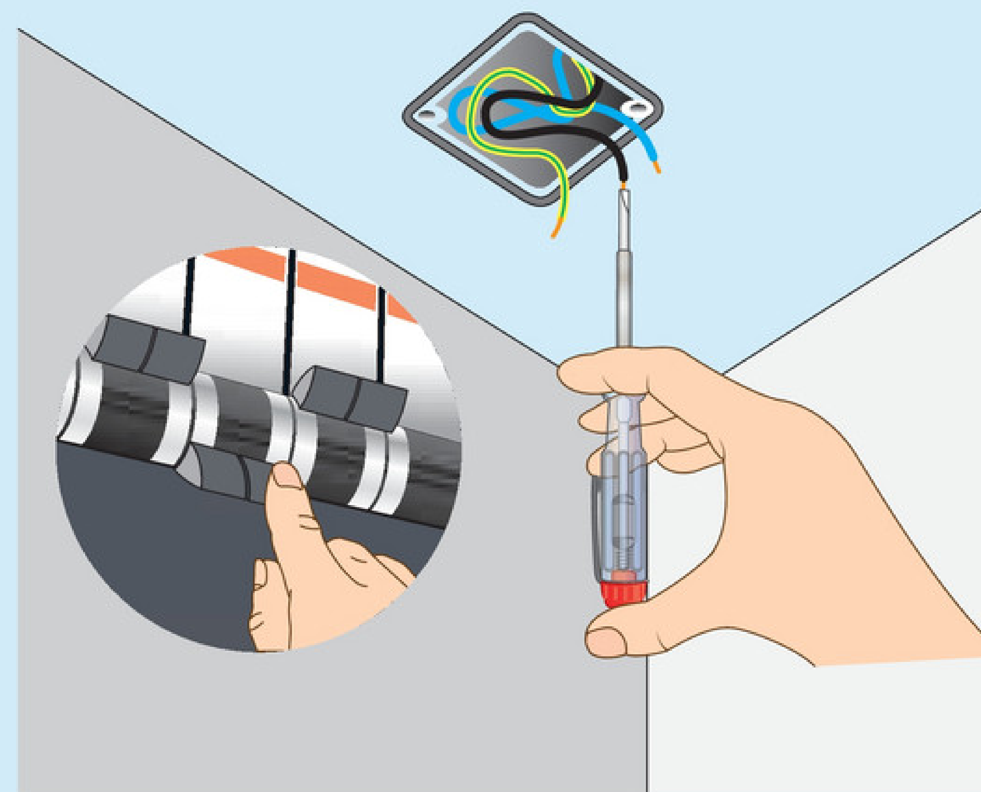
c Je kunt de spanning van de zwarte draad afhalen door de lichtschakelaar op UIT te zetten.
Leg uit waarom dat niet zo'n veilige manier is.

d Wat is een veiligere manier om de spanning van een lichtpunt of stopcontact af te halen?

e Waarom is het verstandig om de meterkast daarna op slot te doen en de sleutel mee te nemen?

Veiligheid voor alles

- Voor u begint met het aansluiten van het snoer, zorgt u ervoor dat op de installatiedraden uit het plafond geen spanning staat. Dat kunt u controleren met een goed werkende spanningzoeker.
- Wanneer op de zwarte draad uit het plafond nog spanning staat, kunt u de draden spanningsloos maken door de bijbehorende lichtschakelaar om te zetten. Het is altijd veiliger om de desbetreffende groep in de meterkast uit te schakelen, de deur van de meterkast op slot te doen en de sleutel bij u te steken zolang u aan het werk bent.



figuur 12 Een stukje uit een doe-het-zelfboek.

4 Bereken hoe groot het vermogen van de volgende apparaten is. Zie de vaardigheid *Uitkomsten afronden*.

a Antons rekenmachine werkt op een batterij van 1,5 V; de stroomsterkte is 0,080 mA.

b Birgits stofzuiger is op het lichtnet (230 V) aangesloten; de stroomsterkte is 7,8 A.

c Corry schakelt de startmotor van haar auto in; de accu levert 8,1 V bij een stroomsterkte van 160 A.

5 Op een groep van een huisinstallatie zijn de volgende apparaten aangesloten:

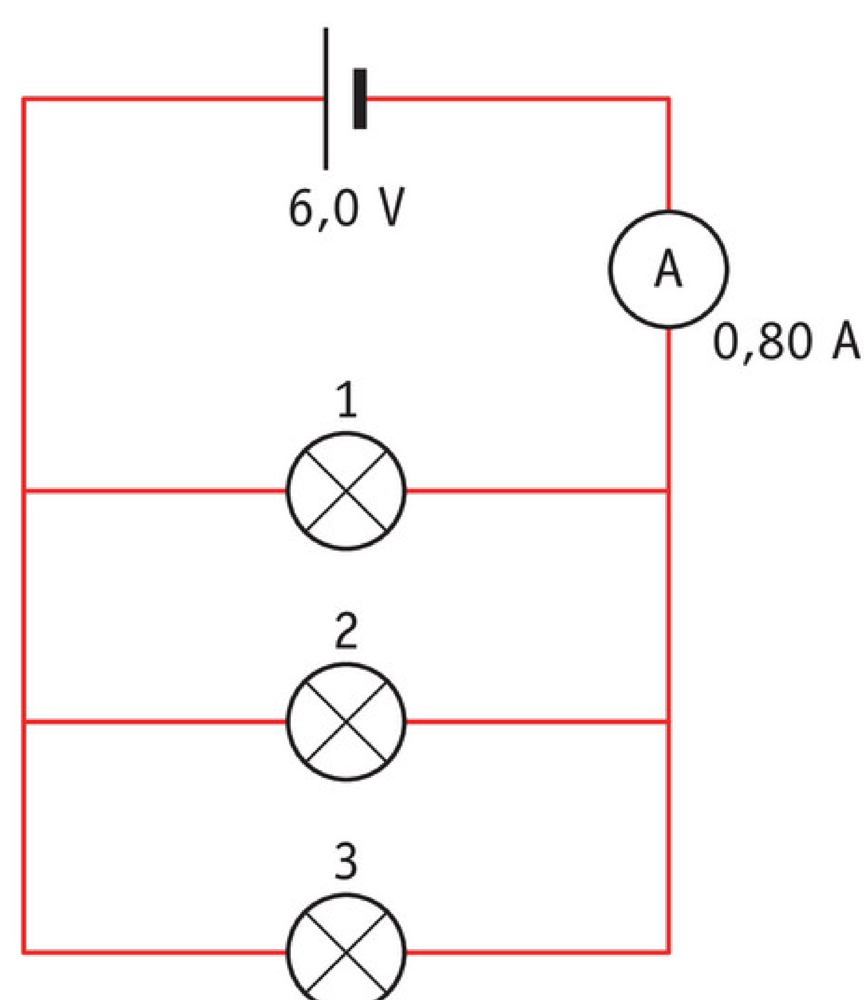
- een airfryer met een vermogen van 2100 W
- een ledlamp met een vermogen van 9,0 W en een ledlamp van 4,0 W
- een afzuigkap met een vermogen van 250 W
- een lcd-tv met een vermogen van 90 W

a Bereken het totale vermogen.

b Bereken de totale stroomsterkte door de groep.

★ 6

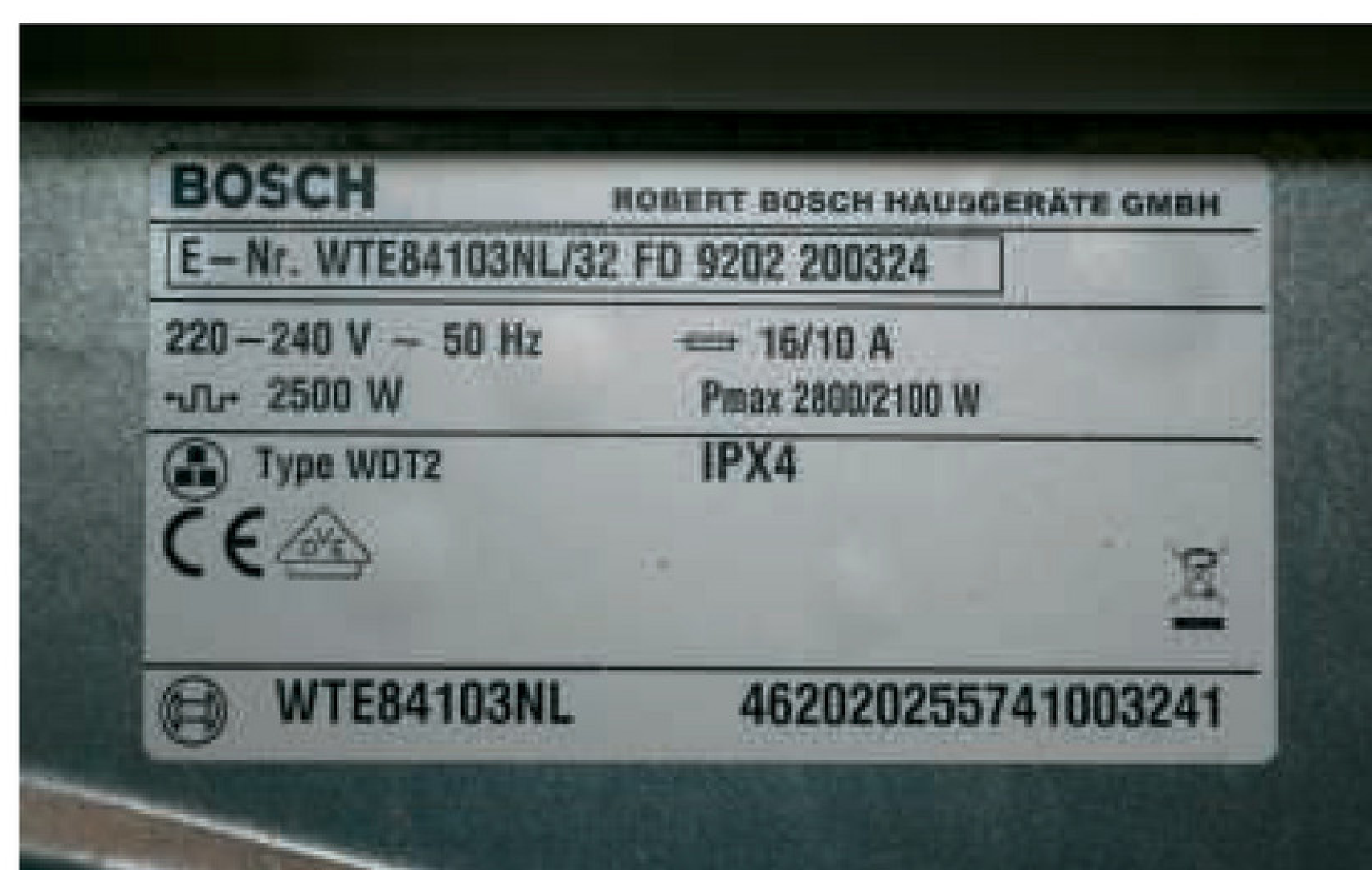
Mounir heeft een schakeling gemaakt met een batterij, drie verschillende lampjes en een stroommeter (figuur 13). De batterij geeft een spanning van 6,0 V. Op lampje 1 staat 6 V / 1,5 W. Op lampje 3 staat 6 V / 2,1 W. De stroommeter geeft een stroomsterkte van 0,80 A aan.
Bereken het vermogen van lampje 2. Schrijf de hele berekening op.

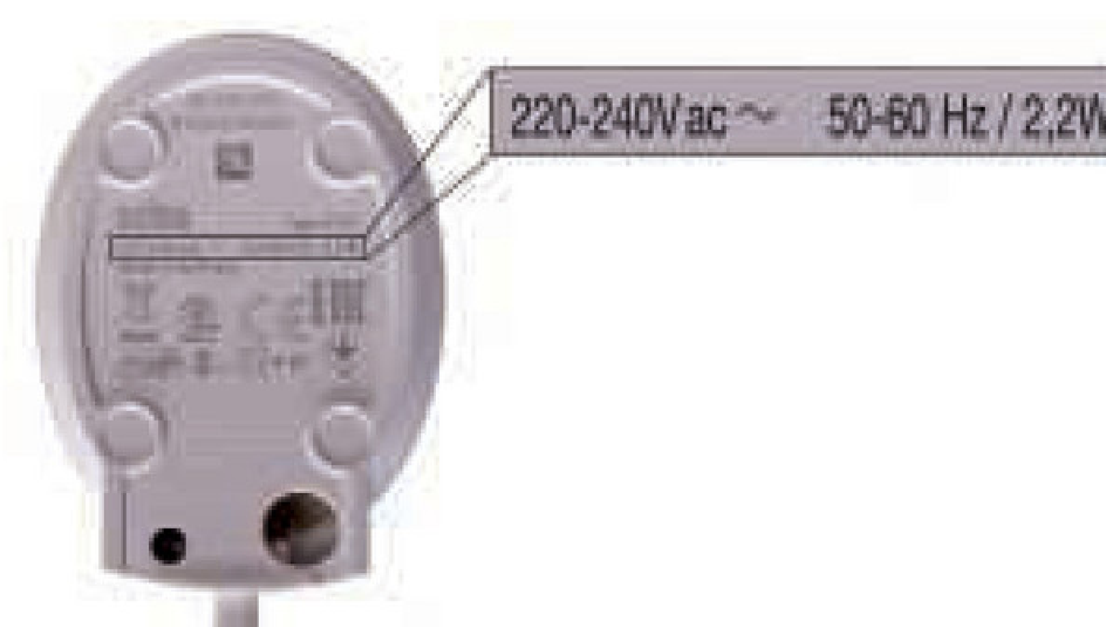


figuur 13 De schakeling van Mounir.

7

In figuur 14 zie je de typeplaatjes van een wasdroger (a) en een elektrische tandenborstel (b).





a b

figuur 14 Typeplaatje van een wasdroger (a) en een elektrische tandenborstel (b).

a De wasdroger doet er 1,6 uur over om de was droog te maken.
Bereken hoeveel elektrische energie daarvoor nodig is (in J en in kWh).

b Jan poetst ’s ochtends 2,0 minuten lang zijn tanden. Als hij de tandenborstel op de oplader zet, heeft deze 6,0 minuten nodig om de tandenborstel weer op te laden.
Bereken hoeveel elektrische energie daarvoor nodig is (in J en in kWh).

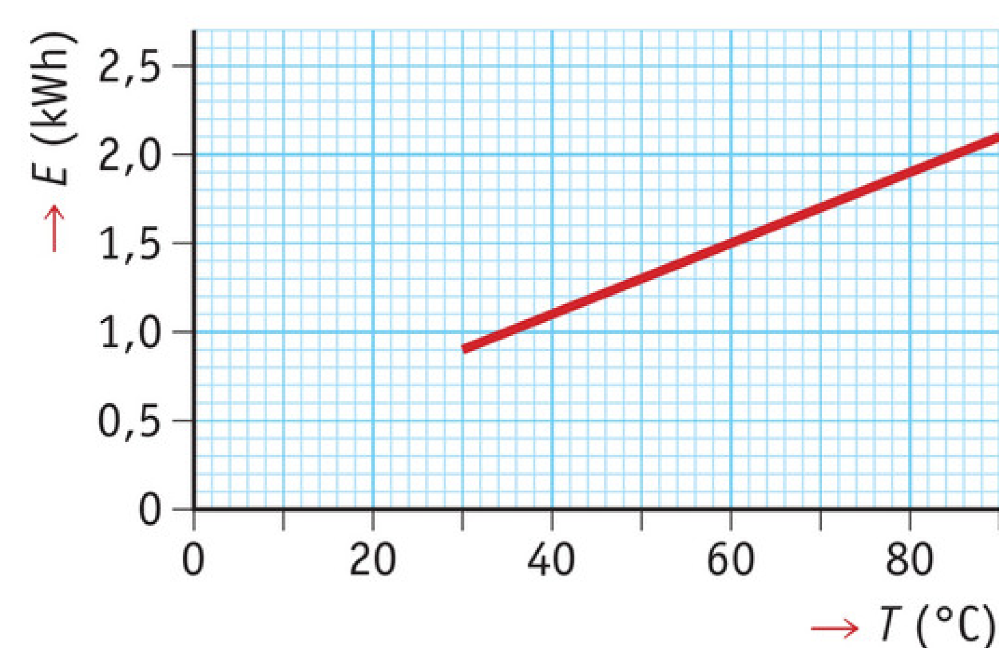


Meer oefening nodig met *Rekenen met elektrisch vermogen*? Ga naar de *Vaardigheidstrainer*.

c Als je een elektrisch apparaat aanschaft, kan het vermogen een rol spelen.
Bij welk apparaat moet je daar zeker op letten: bij een wasdroger of bij een elektrische tandenborstel? Licht je antwoord toe met een berekening.

Ga er bij de volgende opdrachten van uit dat 1 kWh elektrische energie € 0,23 kost (prijspeil 2019).

★ 8 Samia gebruikt haar wasmachine twee keer per week. Ze stelt de wasmachine daarbij in op 60 °C. Ze wil bezuinigen op haar energiekosten en vraagt zich af hoeveel ze bespaart als ze voortaan op 30 °C zou wassen. In figuur 15 is het energiegebruik per wasbeurt van haar wasmachine uitgezet tegen de temperatuur van het waswater.
Bereken hoeveel geld Samia per jaar kan besparen (afgerond op hele euro's).



figuur 15 Het energieverbruik per wasbeurt.

★ 9 Als Jacqueline geen tv kijkt, staat haar toestel altijd stand-by. Ze vraagt zich af of haar energierekening daarvan veel hoger wordt. Daarom meet ze het vermogen van haar tv in de stand-bystand. Dat blijkt 4,0 W te zijn. Als de tv aanstaat, is het vermogen 260 W.

a Stel je voor dat het tv-toestel een heel jaar lang stand-by staat.
Bereken hoeveel elektrische energie het toestel dan per jaar gebruikt.

b Bereken hoeveel Jacqueline voor die elektrische energie moet betalen.

c Jacqueline kijkt gemiddeld 1,5 uur tv per dag.
Bereken hoeveel elektrische energie het toestel per jaar in totaal verbruikt.

d Hoeveel procent van dat totaal komt door het stand-byverbruik?

 Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS INSTALLATIEAUTOMAAT

10 Het anker links boven in figuur 10 wordt bij een zeer grote stroom naar beneden getrokken.

a Wat kun je zeggen over het materiaal waarvan het anker is gemaakt?

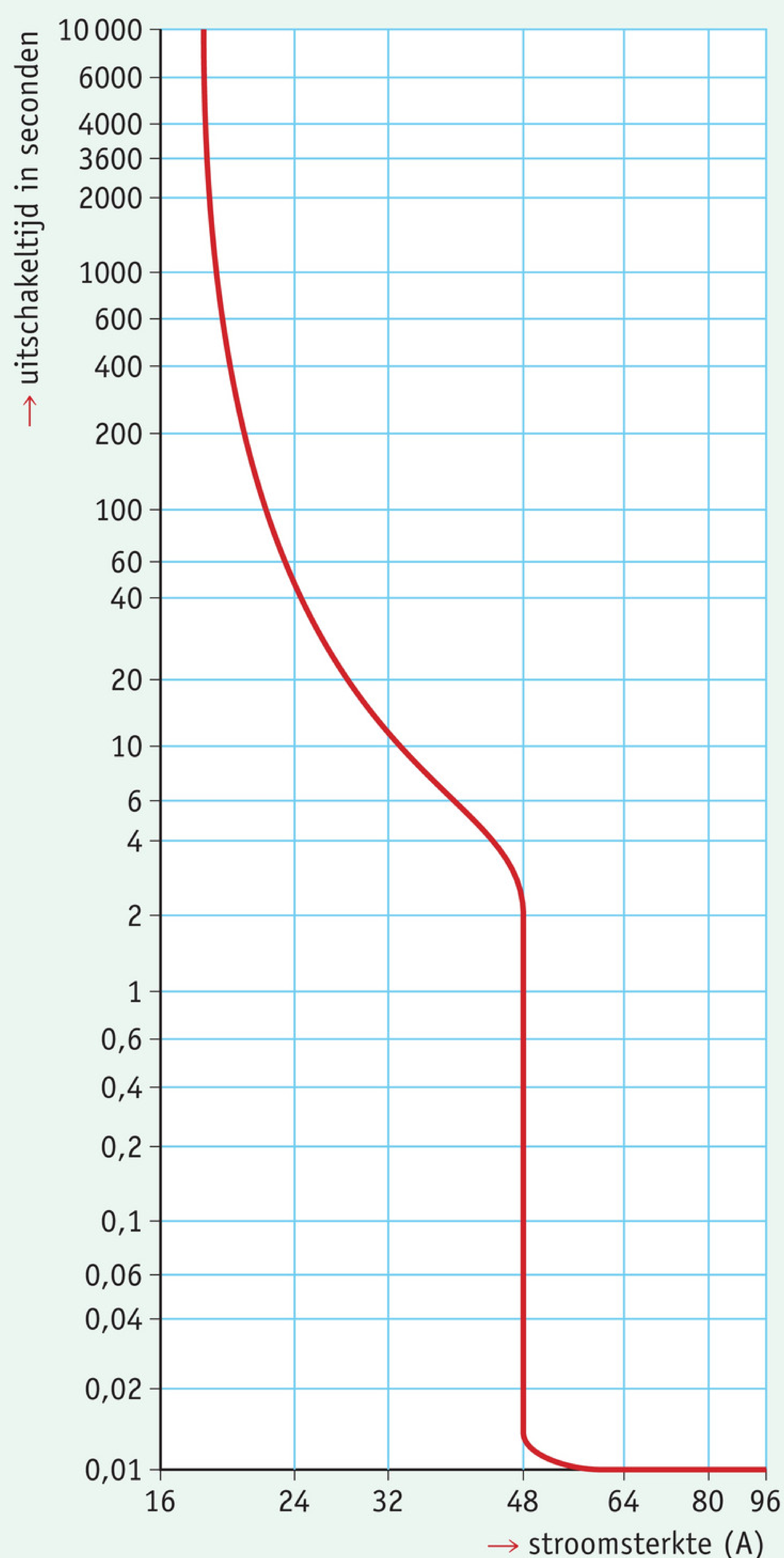
b Het bimetaal links onder in figuur 10 krult naar rechts als de stroomsterkte in de groep te groot wordt.
Leg uit welke kant van het bimetaal in figuur 10 meer uitzet bij een te grote stroom: links of rechts?

11 Voor apparaten die veel elektrische energie verbruiken, zoals een jacuzzi, is een 16 A-installatieautomaat niet genoeg. Je kunt dan een aparte groep aanleggen met een 25 A-installatieautomaat.
Leg aan de hand van figuur 10 uit op welke manieren je een 16 A-installatieautomaat kunt aanpassen zodat hij pas bij 25 A de stroom uitschakelt. Bedenk minstens drie mogelijkheden.

12 In figuur 16 is een grafiek afgebeeld waarin je de uitschakeltijd van een installatieautomaat kunt aflezen als functie van de stroom.
Voor zowel de *x*- als de *y*-as geldt dat de schaalverdeling niet lineair is. Je ziet onder aan de grafiek een hokje van 0,01 s, terwijl boven aan de grafiek een hokje wel 4000 s is.

a Leg uit waarom de tekenaar voor zo'n schaal heeft gekozen.

b Pien en haar ouders geven thuis een groot feest. Ze hebben besloten een bittergarnituur te serveren. Om snel uit te kunnen serveren sluiten ze twee friteuses aan. Beide friteuses hebben een vermogen van 2,75 kW. Ze worden op één groep aangesloten. Ga ervan uit dat de bittergarnituur in 10 minuten gaar wordt gebakken en dat daarbij het verwarmingselement continu aanstaat.
Bereken met behulp van figuur 16 of de bittergarnituur gaar wordt gebakken.



figuur 16 De uitschakeltijd van een 16 A-installatieautomaat hangt af van de stroomsterkte.

4 Elektriciteit en veiligheid

LEERDOELEN

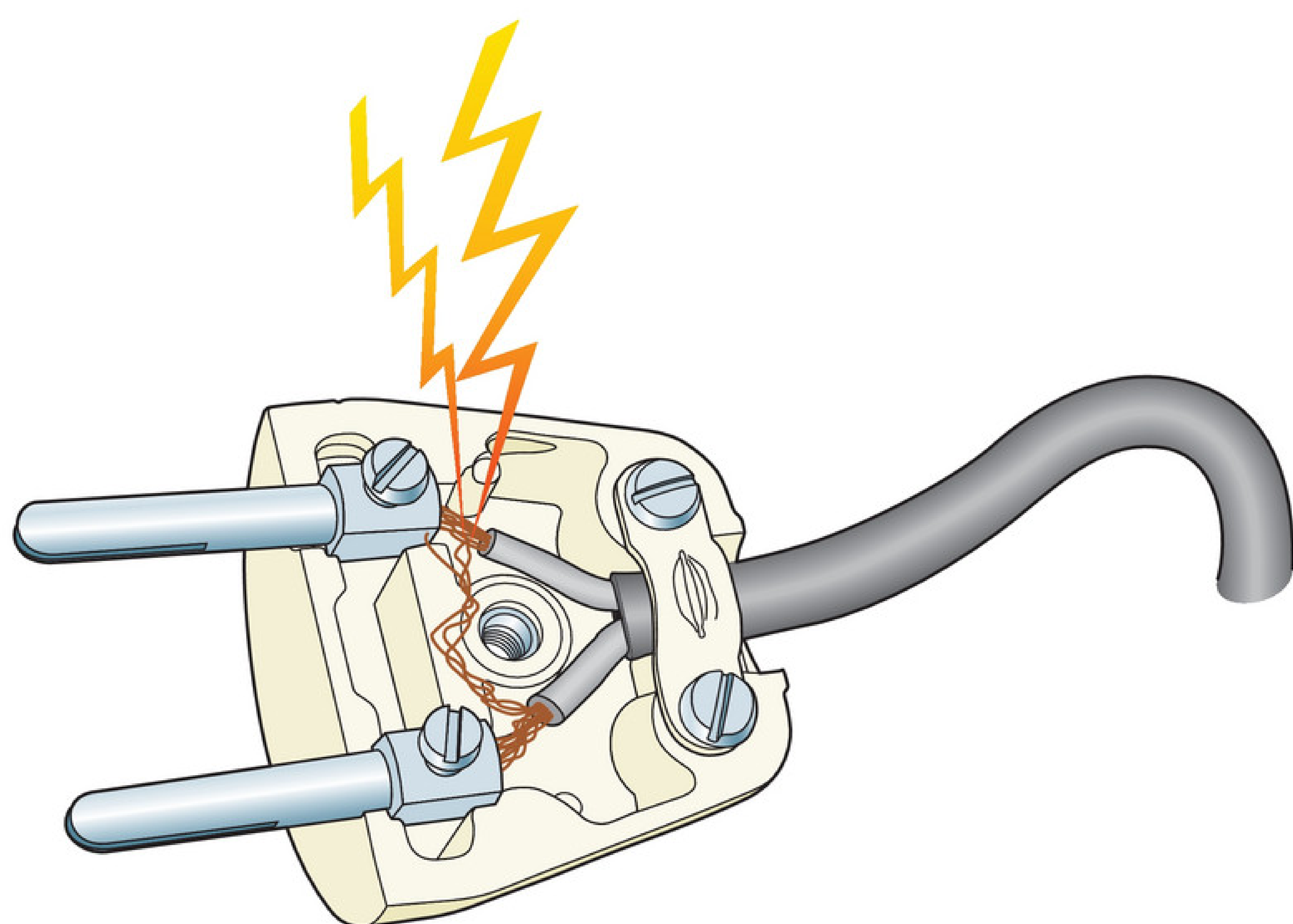
1.4.1 Je kunt uitleggen welke gevaren het gebruik van elektriciteit met zich meebrengt.
1.4.2 Je kunt uitleggen wat de functie van installatieautomaten (groepszekeringen) is.
1.4.3 Je kunt uitleggen wat wordt bedoeld met 'enkele isolatie' en 'dubbele isolatie'.
1.4.4 Je kunt uitleggen wat de functie is van aardlekschakelaars en randaarde.
1.4.5 Je kunt veiligheidsvoorzieningen aanwijzen en benoemen, in het echt en op foto's.
PLUS 1.4.6 Je kunt het verschijnsel inductiespanning verklaren.

In het ontwerp van een huisinstallatie staat de veiligheid voorop. De leidingen zijn goed beschermd tegen beschadigingen en degelijk geïsoleerd. Ook zijn er speciale veiligheidsvoorzieningen, zoals zekeringen en randaarde. Daardoor is de kans op ongelukken met elektriciteit erg klein, zolang je zelf ook voorzichtig bent.

GEVAREN VAN ELEKTRICITEIT

Als leidingen te veel stroom moeten verwerken, kunnen ze zo heet worden dat er brand uitbreekt. Dit kan het gevolg zijn van overbelasting of van kortsluiting.

- Bij **overbelasting** zijn er te veel apparaten tegelijk op een groep aangesloten. Daardoor wordt er in die groep te veel vermogen opgenomen. De stroomsterkte stijgt daardoor tot boven de veilige waarde (meestal 16 A). Als dat vaker gebeurt, is het verstandig om een extra groep aan te leggen.
- Bij **kortsluiting** is de isolatie van een apparaat of een snoer kapotgegaan. Hierdoor kan de stroom een andere weg met veel minder weerstand nemen. In figuur 1 zie je een voorbeeld. In de stekker raken de koperdraden elkaar. Als je deze stekker in het stopcontact steekt, kan de stroom rechtstreeks van de fasedraad naar de nuldraad lopen. De stroomsterkte wordt dan ineens enorm groot.



figuur 1 Als je deze stekker gebruikt, ontstaat er kortsluiting.

Behalve brand is er nog een tweede gevaar. Dat merk je als je schrikdraad rond een weiland aanraakt (figuur 2). Er loopt dan een elektrische stroom door je lichaam en dat is geen prettig gevoel. Door de stroom trekken je spieren zich opeens sterk samen: er gaat een schok door je heen. Bij schrikdraad is dat alleen onplezierig, maar bij het lichtnet kan een schok gevaarlijk zijn.



figuur 2 Als je schrikdraad aanraakt, trekken je spieren opeens sterk samen.

Als de stroom door je lichaam niet erg groot is, blijf je zelf de baas over je spieren. Je kunt het voorwerp dat onder spanning staat meteen weer loslaten. Maar als de stroom groter is en niet meteen stopt, kunnen je spieren zich niet ontspannen. In dat geval kun je het voorwerp dat onder spanning staat niet meer loslaten. In tabel 1 zie je wat de gevolgen kunnen zijn.

tabel 1 Het effect van stroom op je lichaam.

stroomsterkte	verschijnsel
0,5 – 5 mA	prikkelende ervaring, schrikbeweging
5 – 20 mA	pijnlijke spierkrampen
20 – 50 mA	spiersamentrekking, ook van de borstspier, ademhalingsproblemen
50 – 200 mA	hartproblemen, hartfibrillatie
200 mA – 1 A	vernietiging van weefsels, spieren en zenuwen
meer dan 1 A	levensgevaar, brandwonden, stolling van eiwitten

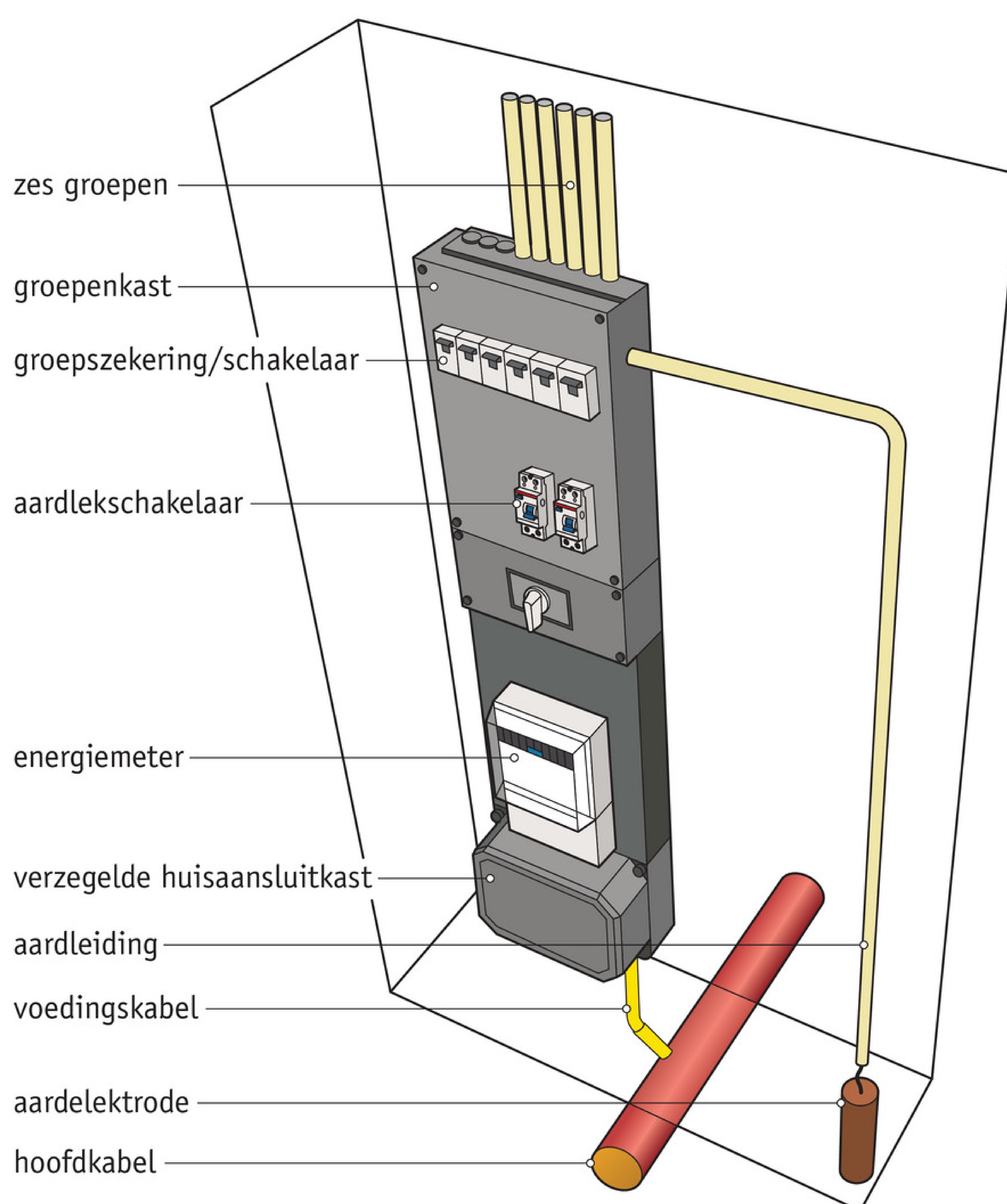
Bron: extranet.infopuntveiligheid.nl

Hoe groot de stroomsterkte wordt, hangt af van de spanning en van de weerstand van je lichaam. Je lichaam geleidt stroom vrij goed; je **lichaamsweerstand** is dus niet heel groot. De stroom ondervindt de grootste weerstand op de plaatsen waar hij het lichaam in- en uitgaat. Dit noem je de **contactweerstand**.

Als je huid droog is, is de contactweerstand behoorlijk groot. Maar als je huid nat wordt, neemt de contactweerstand sterk af. Laarzen met rubberen zolen hebben een grote contactweerstand en verkleinen daardoor de stroom. Maar het is altijd beter om een geleider waar meer dan 30 V spanning op staat helemaal niet aan te raken.

ZEKERINGEN

In de meterkast vind je verschillende veiligheidsvoorzieningen (figuur 3). Voor elke groep is er een eigen **groepszekering**. Die zekeringen zorgen ervoor dat de stroomsterkte in de groep niet te groot wordt. Normaal gesproken is 16 A de maximale stroomsterkte die een groep veilig aankan. Als de stroomsterkte in een groep groter wordt dan 16 A, schakelt de groepszekering de stroom uit. Dat voorkomt dat de leidingen zo heet worden dat er brand uitbreekt.



figuur 3 Dit vind je allemaal in de meterkast.

In een moderne huisinstallatie worden elektronische zekeringen gebruikt, die je **installatieautomaten** noemt. Zo'n installatieautomaat heeft een hefboompje dat 'omklapt' als de stroom wordt uitgeschakeld (figuur 4). Zo zie je meteen in welke groep de storing zit. Als de storing is opgelost, kun je de stroom weer inschakelen door het hefboompje over te halen.

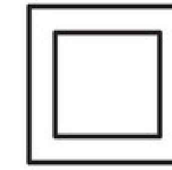


figuur 4 Een rij installatieautomaten.

ENKELE EN DUBBELE SOLATIE

De draden in een huisinstallatie hebben een kern van massief koperdraad. De dikte van dit draad is zo gekozen dat stroom tot 16 A gemakkelijk wordt doorgelaten, zonder noemenswaardige warmteontwikkeling. Een isolatielaag van gekleurd pvc zorgt ervoor dat je geen schok krijgt als je een draad vastpakt. De isolatie is ook nodig om kortsluiting tussen de draden te voorkomen.

De installatiedraden lopen door isolerende pvc-buizen of ze zijn opgenomen in een dikke kabel met een grijze isolatie. Ze hebben dus een **dubbele isolatie**. Ook apparaten kunnen dubbel geïsoleerd zijn. De onderdelen waar de stroom doorheen loopt zijn dan normaal geïsoleerd. Daarnaast is de buitenkant van het apparaat dan van een niet-geleidende kunststof gemaakt. Een apparaat met dubbele isolatie kun je herkennen aan het symbool in figuur 5.



figuur 5 Het symbool voor dubbele isolatie.

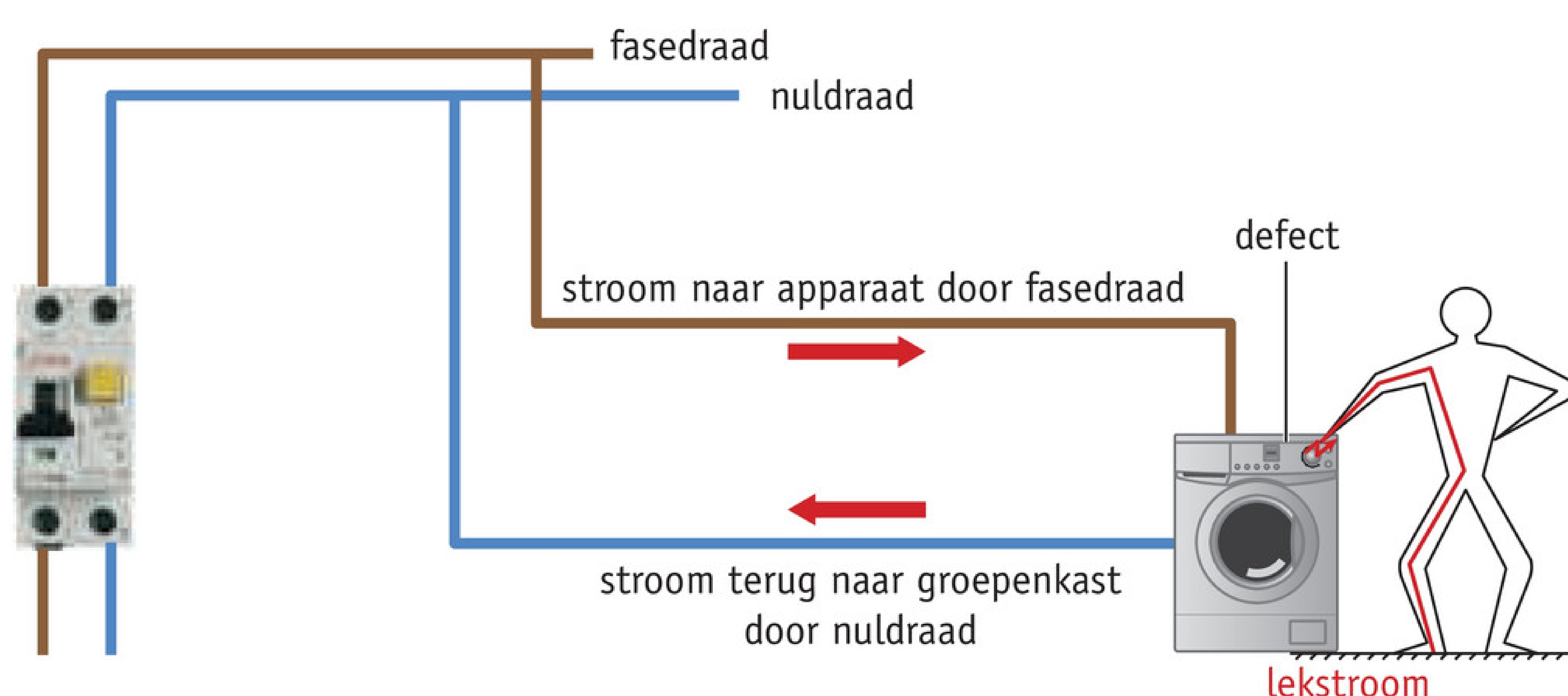
DE AARDLEKSCHAKELAAR

In de meterkast vind je behalve zekeringen ook een of meer **aardlekschakelaars** (figuur 6). Een aardlekschakelaar vergelijkt de stroomsterkte in de fasedraad (bruine kleur) met de stroomsterkte in de nuldraad (blauwe kleur). Zolang de twee stroomsterkten even groot zijn – zoals normaal gesproken – laat de aardlekschakelaar de stroom gewoon door.



figuur 6 Met de testknop kun je controleren of de aardlekschakelaar goed werkt.

In figuur 7 is een situatie getekend waarin de beide stroomsterkten verschillend zijn. De metalen buitenkant van het apparaat staat onder spanning door een defect in de isolatie. Daardoor 'lekt' er stroom weg als iemand het apparaat aanraakt. De stroomsterkte in de nuldraad is nu kleiner dan die in de fasedraad.

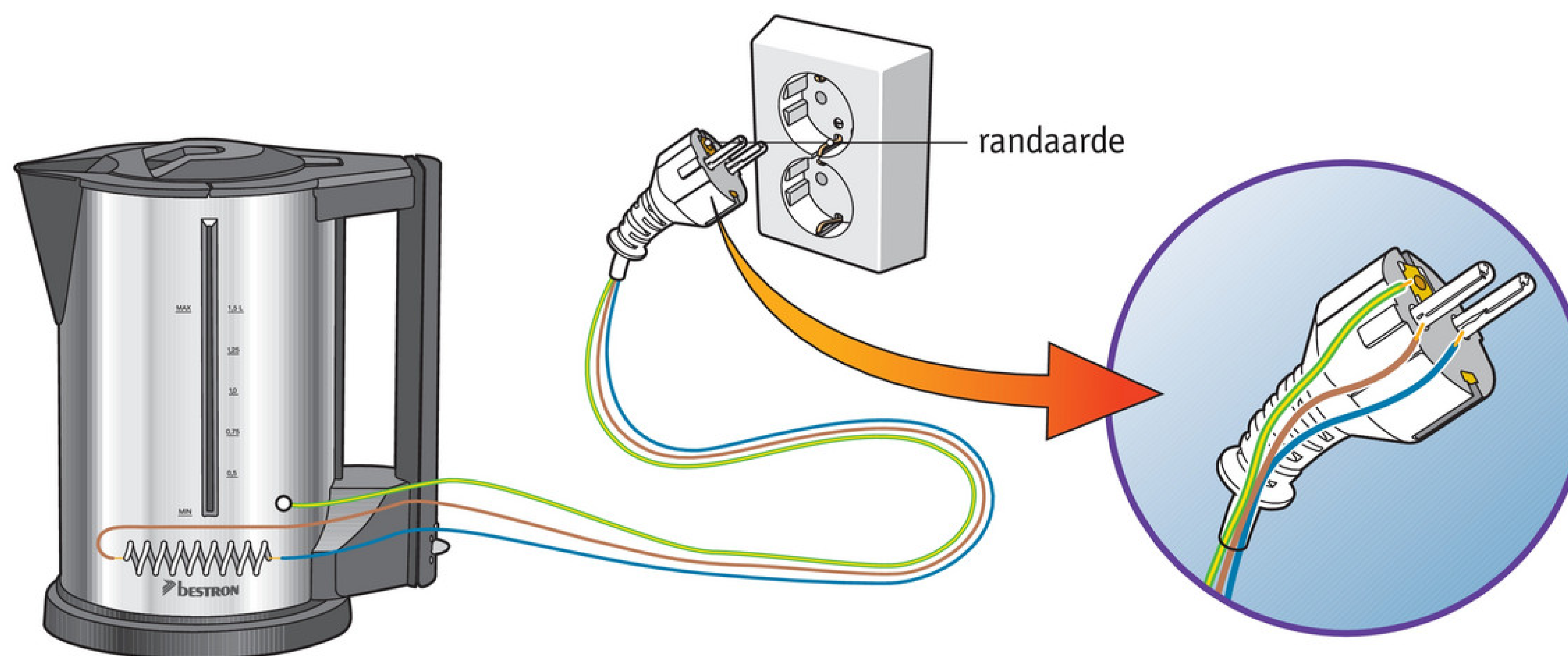


figuur 7 Bij een lekstroom schakelt de aardlekschakelaar de spanning uit.

Als het verschil in stroomsterkte groter wordt dan 30 mA schakelt de aardlekschakelaar de stroom uit. Er kan dan geen stroom meer weglekken via je lichaam of via een andere weg. Als je het apparaat aanraakt, krijg je dus wel een schok, maar daar blijft het bij: bijna op hetzelfde moment valt de stroom uit.

RANDAARDE

Je wilt niet dat de lekstroom via iemands lichaam loopt. Dat is de reden waarom apparaten vaak worden geaard. Er loopt dan een groengele **aarddraad**, die contact maakt met de buitenkant van het apparaat, via het snoer naar de rand van het stopcontact (figuur 8). Vanaf het stopcontact loopt de aarddraad verder naar de aardleiding in de meterkast. De aardleiding is op haar beurt weer verbonden met een aardelektrode, een metalen pin die diep in de bodem is geslagen.



figuur 8 Zo wordt een waterkoker geaard.

Als de metalen buitenkant van het apparaat onder spanning komt te staan, loopt er via de aarddraad een flinke lekstroom naar de aarde. Dat zorgt ervoor dat de aardlekschakelaar meteen de stroom uitschakelt. Dat gebeurt dus al voordat iemand het apparaat kan aanraken.

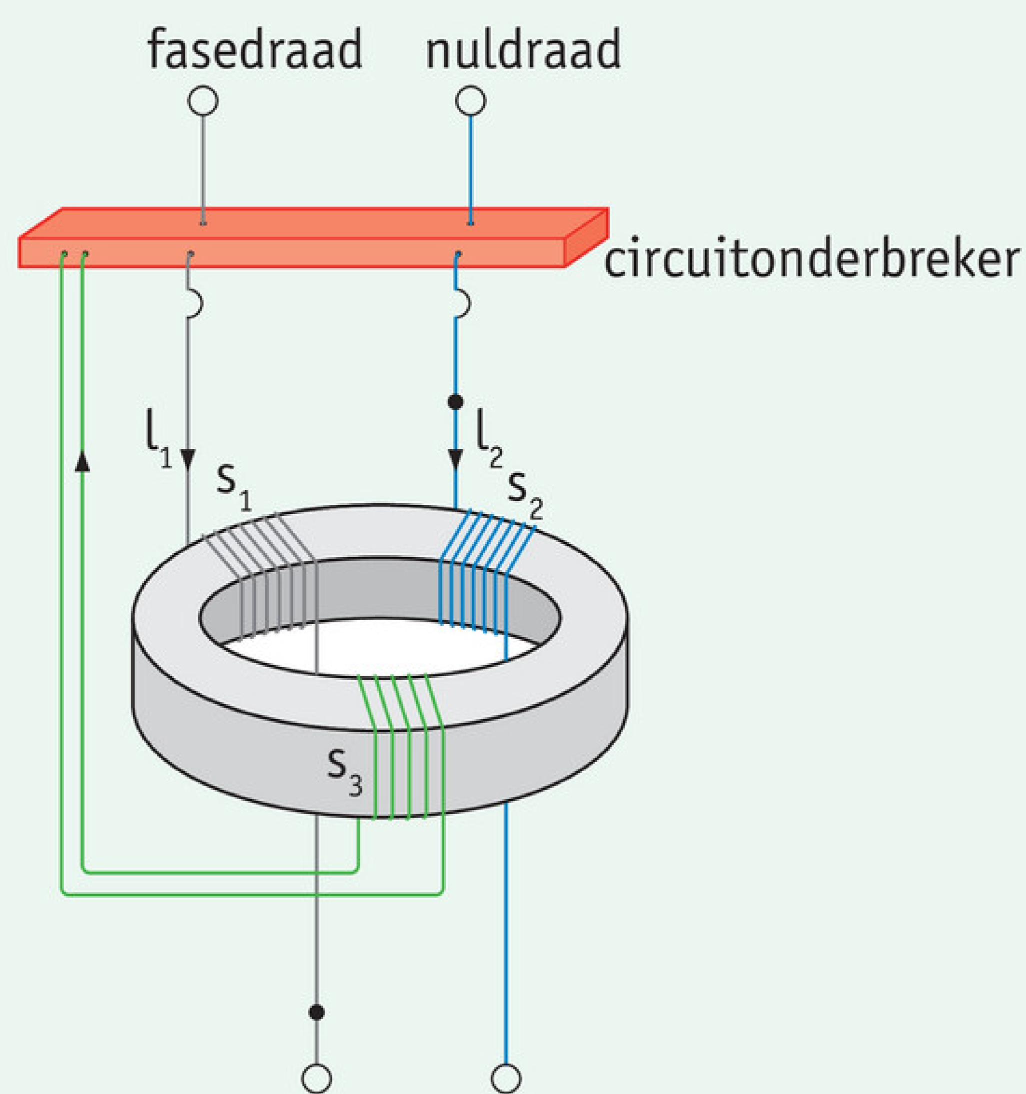
Toen er nog geen aardlekschakelaars waren, moest de stroom die naar de aarde weglekte de groepszekering laten doorslaan. Dat ging lang niet altijd goed; soms bleef deze ‘verliesstroom’ onder de 16 A en dan gebeurde er niets. Een aardlekschakelaar slaat al door bij een stroomsterkte van 30 mA. Dat zorgt voor extra veiligheid die een zekering je niet kan geven.

PLUS DE WERKING VAN EEN AARDLEKSCHAKELAAR

In figuur 9 zie je een schematische voorstelling van de werking van een eenvoudig type aardlekschakelaar. De fasedraad en nuldraad zijn elk verbonden met een spoel (S_1 en S_2). Net zoals bij de primaire spoel in een transformator geldt hier: een stroom door een spoel wekt een magneetveld op. De stroom door de fasedraad I_1 is normaal gesproken even groot als de stroom door de nuldraad I_2, waardoor ook beide magneetvelden even groot zijn.

De spoelen zijn zo gewonden dat de richting van de stroom I_1 tegengesteld is aan de richting van I_2. De richting van het magneetveld dat wordt opgewekt in een spoel hangt af van de richting van de stroom door de spoel. Doordat beide magneetvelden tegengesteld gericht zijn, heffen ze elkaar op. Er is dan geen *netto* magnetisch veld en hierdoor loopt er ook geen stroom door de detectiespoel S_3: de circuitonderbreker reageert niet.

Als de stroomsterkten (een klein beetje) verschillend zijn (en dus hun magneetvelden ook) ontstaat er een netto wisselend magnetisch veld in de ijzeren ring. Er wordt nu een kleine spanning in detectiespoel S_3 opgewekt. De opgewekte spanning in de detectiespoel zorgt ervoor dat er een klein stroompje door de circuitonderbreker gaat lopen, die vervolgens de stroomkring onderbreekt.



figuur 9 Zo ziet een eenvoudige aardlekschakelaar er schematisch uit.



Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Door welke twee oorzaken kan de stroomsterkte in een groep te groot worden?
b Leg uit wat er aan de hand is wanneer er in een apparaat kortsluiting ontstaat.
c Hoe kun je aan een installatieautomaat zien dat hij de stroom in de groep heeft uitgeschakeld?
d Hoe bepaalt een aardlekschakelaar of de stroom moet worden uitgeschakeld?
e In welke situatie geeft een aardlekschakelaar je meer veiligheid dan een zekering?

2 Apparaten met een metalen buitenkant zoals een wasmachine of een koelkast zijn altijd geaard.

a Leg uit waarom het belangrijk is dat de metalen buitenkant van een wasmachine wordt geaard.
b Leg uit langs welke route de lekstroom (verliesstroom) dan wordt afgevoerd.
c Waaraan kun je een aarddraad meteen herkennen?
d Leg uit waarom het geen zin heeft om de buitenkant van een dubbel geïsoleerd apparaat te aarden.

TOEPASSING

3 Als je een draad beetpakt waar een spanning van 230 V op staat, krijg je een stevige schok. Van schrik kunnen je handen dan nat worden van het zweet.

a Hoe verandert de contactweerstand van je lichaam door het zweet?
b Als gevolg van het zweten wordt het moeilijker om de draad weer los te laten. Leg uit hoe dat komt.

4 In een heteluchtoven zit een verwarmingselement dat de lucht verhit (1450 W), een ventilator voor het verspreiden van de hete lucht (80 W) en een grill (1300 W).

a Bereken de maximale stroom door de heteluchtoven.

b In de keuken staan behalve de heteluchtoven ook nog een koffiemachine (800 W), een koelkast (100 W) en een afwasmachine (1800 W). Stel dat al deze apparaten op dezelfde groep zijn aangesloten en tegelijk worden aangezet.
Leg uit of de zekering de groep dan zal uitschakelen.

c Geef een voordeel en een nadeel van het aanleggen van een eigen groep voor de heteluchtoven.

★ 5 In een folder staat een advertentie voor een kabelhaspel (figuur 10). Daarin wordt ervoor gewaarschuwd dat je de kabel voor een beperkt vermogen kunt gebruiken.

a Bereken hoe groot de maximale stroomsterkte is:
- als de kabel helemaal is afgerold.
- als de kabel nog op de haspel zit.

b Anne gebruikt de kabelhaspel om een houtversnipperaar van 2,2 kW op het lichtnet aan te sluiten.
Leg uit wat er fout kan gaan, als ze de kabel niet eerst helemaal afrolt.

c Waaruit kun je afleiden dat het koperdraad van de kabel ongeveer even dik is als het koperdraad in de huisinstallatie?



figuur 10 Een advertentie voor een kabelhaspel.

6 In de keuken van Peters flat staan drie elektrische apparaten aan: de wasmachine, de elektrische oven en de koelkast. Op het moment dat Peter ook nog zijn waterkoker aanzet, valt opeens de elektriciteit uit.

a Noteer twee mogelijke oorzaken voor het uitvallen van de elektriciteit.

b De televisie in Peters huiskamer staat nog wel aan.
Hoe kan het dat daar de elektriciteit niet is uitgevallen?

c Peter ziet in de meterkast dat het hefboompje van een van de installatieautomaten omlaag is geklapt. Als hij dit hefboompje omhoogduwt en loslaat, valt het net zo snel weer terug.
Wat had Peter eerst moeten doen?

7 Als David zijn elektrische oven aanraakt, krijgt hij een schok. Op dat moment loopt er een stroom van 8,25 A door de fasedraad en een stroom van 8,21 A door de nuldraad.

a Bereken de grootte van de lekstroom in deze situatie.

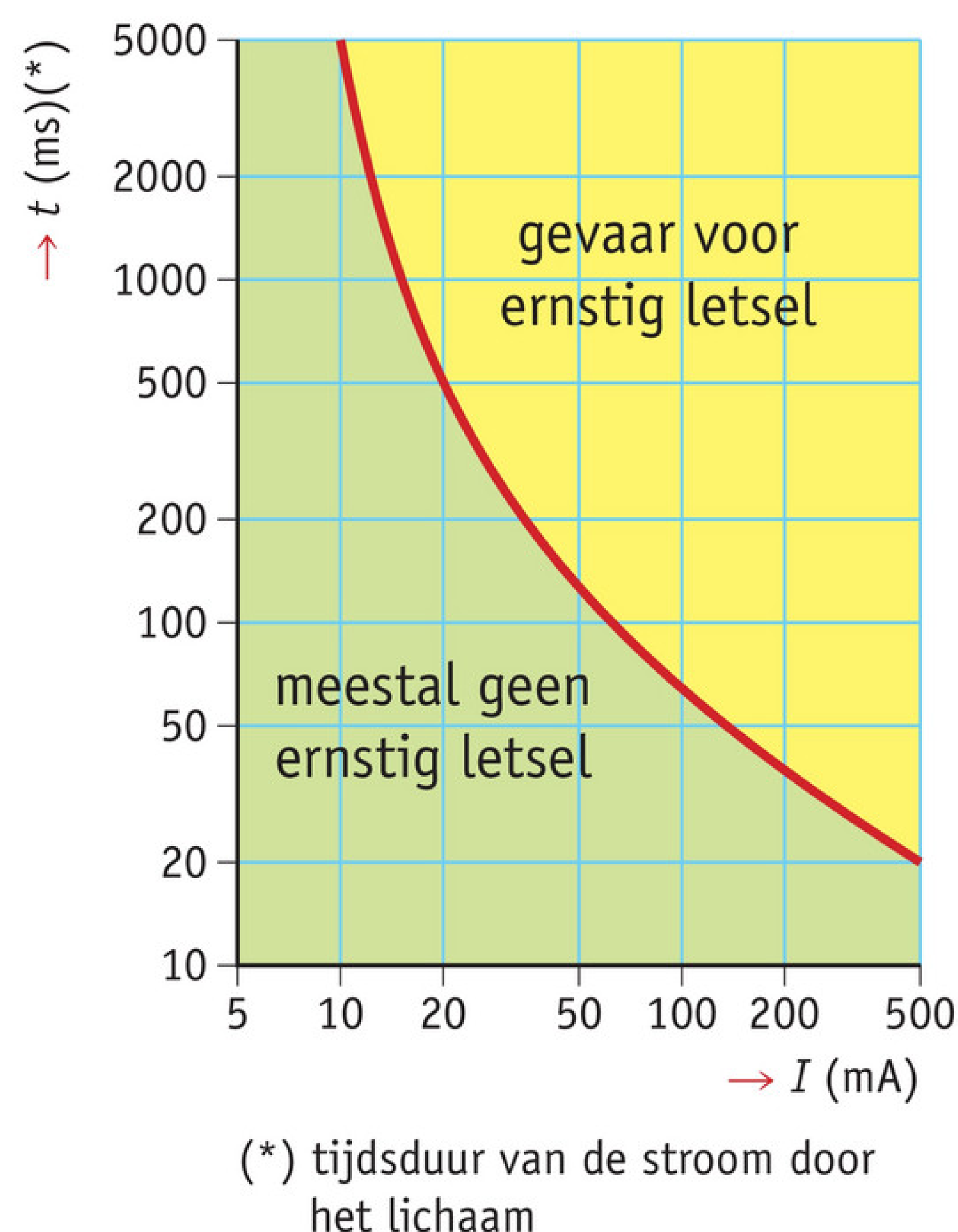
b Leg uit of de aardlekschakelaar de stroom zal uitschakelen.

c Als de oven een dag later wordt gerepareerd, blijkt dat de aarddraad is losgegaan. Daardoor was de metalen buitenkant van het apparaat niet meer geaard. Leg uit dat David geen schok had gekregen, als de aarddraad goed vast had gezeten.

8 Een elektrische schok kan ernstig letsel veroorzaken. Hoe groot het risico is, hangt af van de stroomsterkte en van de tijd dat de stroom door je lichaam loopt (figuur 11).

a Binnen welke tijd moet een aardlekschakelaar de stroom uitschakelen om het risico beperkt te houden:
- bij een stroomsterkte van 50 mA?
- bij een stroomsterkte van 200 mA?

b Op de website www.veiligheid.nl staat: “De aardlekschakelaar schakelt uit als de lekstroom groter is dan 30 milliampère en minimaal 20 milliseconden aanhoudt en maakt daarmee elektrocutie onmogelijk.”
Leg uit of deze bewering klopt met de informatie in figuur 11.



figuur 11 De gevarengrens bij een elektrische schok.

★ 9 Gilles controleert of er spanning op een stopcontact staat. Het neonlampje in de spanningzoeker gaat branden als hij met een vinger achter op de spanningzoeker drukt (figuur 12).

a Is het een sterke stroom die dan door het neonlampje en zijn vinger naar de aarde loopt? Hoe weet je dat?

b Het valt Gilles op dat het neonlampje feller gaat branden als hij met zijn andere hand een waterkraan aanraakt. Hoe komt het dat de stroomsterkte dan toeneemt? Gebruik het woord ‘weerstand’ in je uitleg.

c Zijn de waterleidingbuizen in Gilles’ huis van koper of van plastic gemaakt? Licht je antwoord toe.



figuur 12 Een stopcontact met een spanningzoeker testen.



Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS DE WERKING VAN EEN AARDLEKSCHAKELAAR

10 De spoelen S_1 en S_2 in figuur 9 hebben een gelijk aantal windingen.

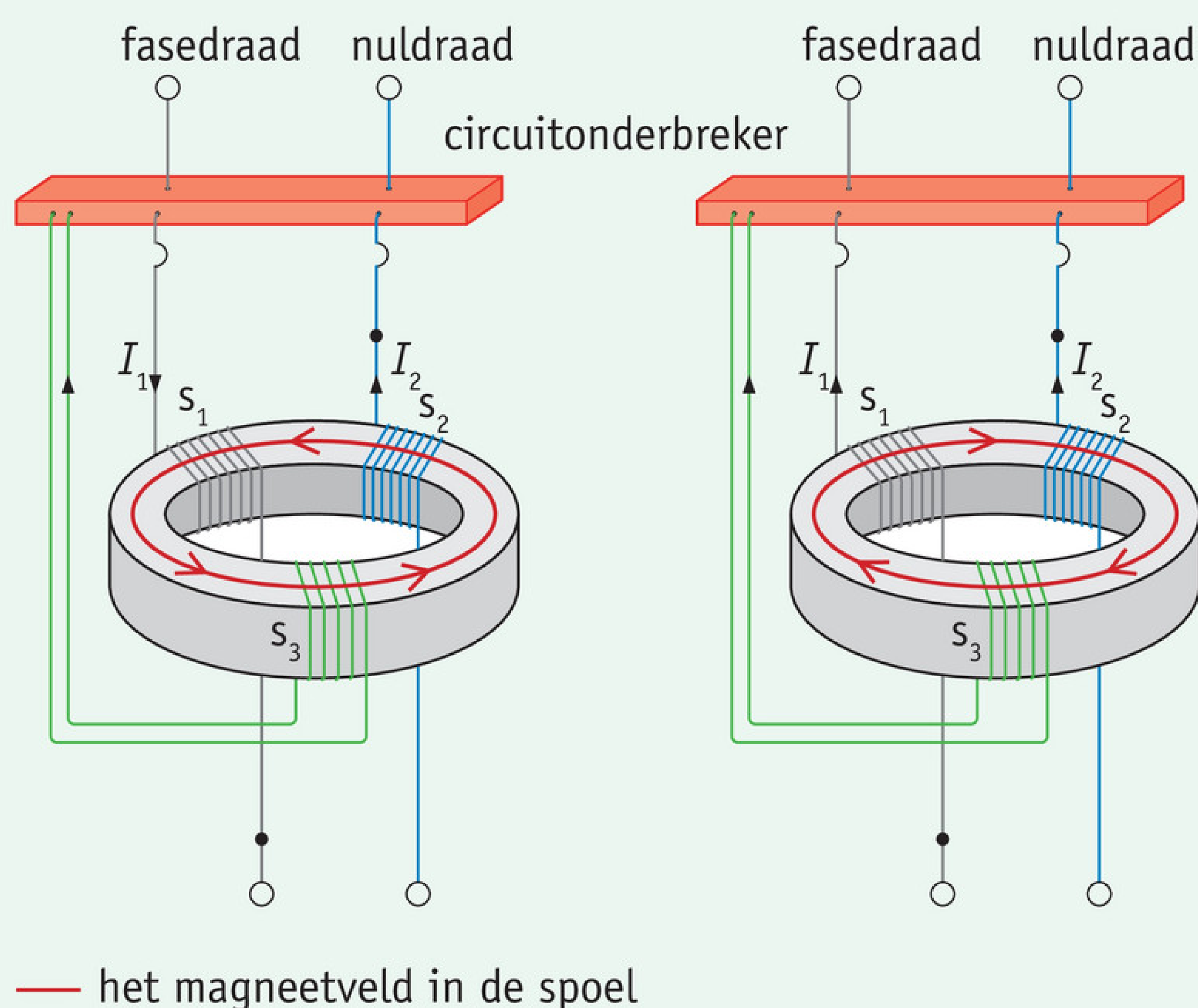
a Leg uit waarom dit belangrijk is.

b In figuur 13 zie je twee momentopnamen van het netto-magneetveld dat ontstaat in de ijzeren ring als de stroomsterkte I_1 groter is dan I_2.
Leg uit waarom dit netto-magneetveld in de ijzeren ring steeds van richting verandert.

c Leg uit waarom er nu een inductiespanning wordt opgewekt in de detectiespoel S_3.
Gebruik in je antwoord het woord ‘magneetveld’.

d De grootte van de opgewekte inductiespanning in detectiespoel S_3 hangt onder andere af van de *snelheid* waarmee het magnetisch veld verandert: als het veld 2× zo snel verandert, wordt de opgewekte spanning 2× zo groot.
In Nederland is de frequentie van de wisselspanning 50 Hz, op het eiland Antigua is deze 60 Hz, bij dezelfde netspanning.
Leg uit waar de aardlekschakelaar onder gelijke omstandigheden eerder zal reageren, in Nederland of op Antigua?

e Esther zegt: “Als in de aardlekschakelaar van figuur 9 de wisselstromen I_1 en I_2 zouden worden vervangen door gelijkstromen (met dezelfde sterkte), dan zou de aardlekschakelaar bij dezelfde waarde van de lekstroom reageren.”
Leg uit of Esther gelijk heeft.



figuur 13 Het netto-magneetveld in de spoel wisselt snel van richting.

11

a Roy zegt: “Als je de ijzeren ring door een koperen ring vervangt, zal de aardlekschakelaar nog eerder reageren, want koper geleidt de stroom veel beter.”
Leg uit dat Roy ongelijk heeft.

b Hoe moet je de detectiespoel in figuur 9 aanpassen om bij dezelfde lekstroom de aardlekschakelaar eerder te laten reageren?
Hint: de detectiespoel kun je vergelijken met de secundaire spoel in een transformator.

Practica

PROEF 1 DE TRANSFORMATOR

30 minuten

Inleiding

De spanning van een spanningsbron is vaak te hoog of juist te laag voor een apparaat. In zo'n geval gebruik je een transformator. Met een transformator kun je de spanning omhoog of omlaag transformeren, terwijl er bijna geen elektrische energie verloren gaat.

Doel

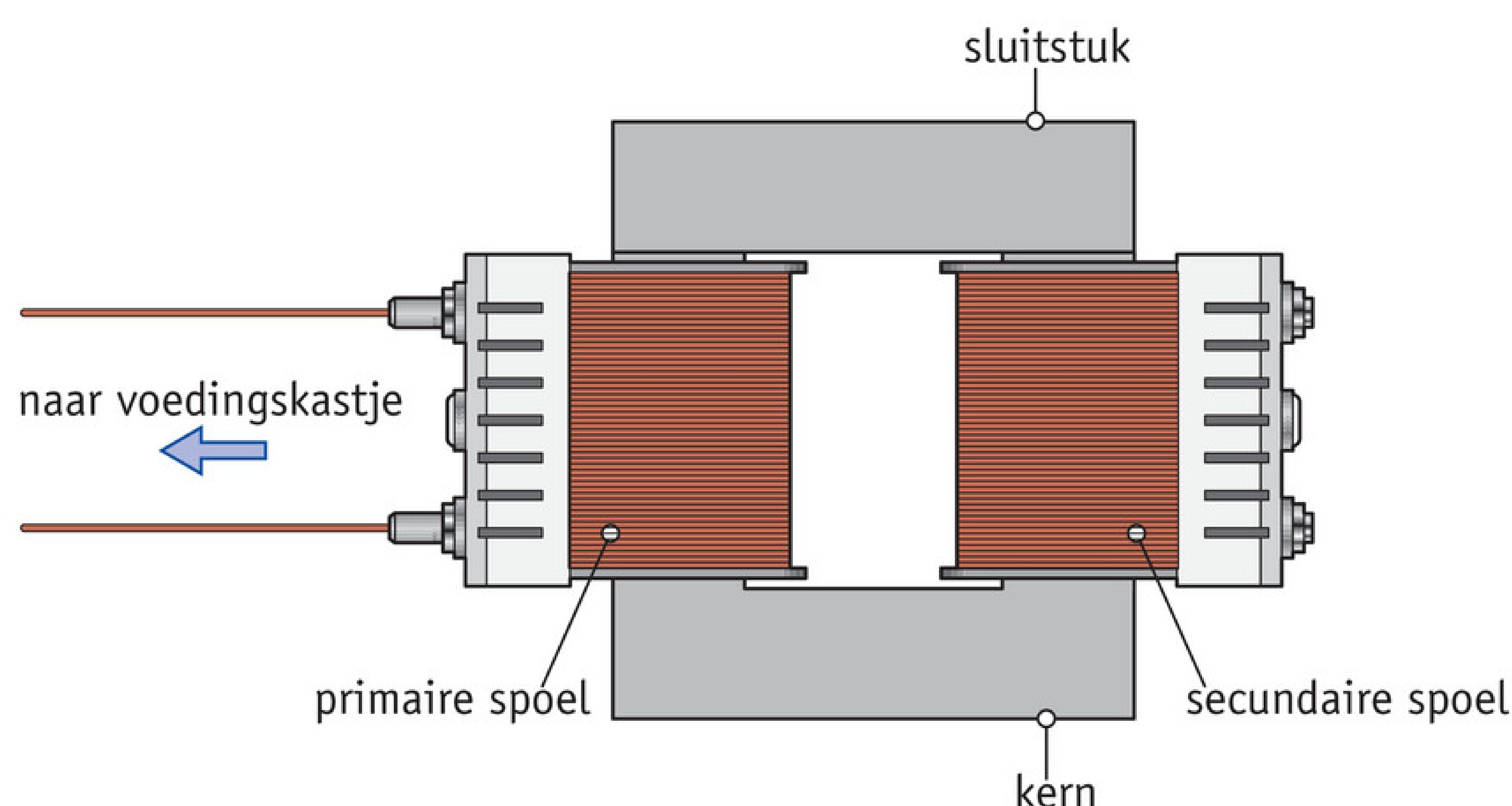
Je onderzoekt de eigenschappen van een transformator.

Nodig

- ☐ voedingskastje
- ☐ weekijzeren juk
- ☐ weekijzeren sluitstuk
- ☐ spoel met 300 windingen
- ☐ spoel met 600 windingen
- ☐ spanningsmeter of multimeter
- ☐ staaf van koper of aluminium
- ☐ snoeren

Uitvoeren en uitwerken

- Bouw de eenvoudige transformator die in figuur 1 is getekend.
- Voer de vier onderzoeken uit die hierna worden beschreven.
- Stel bij alle onderzoeken het voedingskastje in op 6 V (~ of =).



figuur 1 Een eenvoudige transformator.

Onderzoek 1

- Onderzoek of het mogelijk is:
  - om gelijkspanning te transformeren;
  - om wisselspanning te transformeren.

1 Schrijf je bevindingen op.

....

....

....

....

Onderzoek 2

- Onderzoek hoe je een spanning van 6 V omhoog kunt transformeren.

2 Welke spoel moet je dan als primaire spoel nemen en welke als secundaire?

....

....

3 Hoe groot wordt de (secundaire) spanning?

....

Onderzoek 3

- Onderzoek hoe je een spanning van 6 V omlaag kunt transformeren.

4 Welke spoel moet je dan als primaire spoel nemen en welke als secundaire?

....

....

5 Hoe klein wordt de (secundaire) spanning?

....

Onderzoek 4

- Onderzoek wat er gebeurt als je het sluitstuk weghaalt.

6 Verandert de (secundaire) spanning dan en zo ja, hoe?

....

....

....

7 Wat gebeurt er als je het sluitstuk vervangt door een koperen of aluminium staaf?

....

....

....

....

- Je docent zal je vertellen van welk onderzoek je een verslag moet maken.

PROEF 2 METEN MET EEN ENERGIEMETER

30 minuten

Inleiding
Met een energiemeter kun je het energieverbruik en het vermogen van elektrische apparaten meten. Het apparaat wordt ook wel een energiekostenmeter genoemd. Van je docent krijg je (een link naar) de gebruiksaanwijzing. Lees die goed voordat je aan het werk gaat.

Doel
Je bepaalt het vermogen en het energieverbruik van diverse elektrische apparaten.

Nodig
- ☐ energiemeter
- ☐ föhn
- ☐ stopwatch
- ☐ waterkoker

Uitvoeren en uitwerken
WAARSCHUWING
Je werkt bij deze proef met een spanning van 230 V. Wees dus voorzichtig. Houd je aan de aanwijzingen van je docent.

- Je docent zal je vertellen welke meting(en) jij moet uitvoeren.

Meting 1: Het vermogen van een föhn
- Steek de energiemeter in een stopcontact.
- Sluit het apparaat aan op de energiemeter (figuur 2).
- Bepaal het vermogen bij verschillende standen van de föhn.



figuur 2 Zo meet je het vermogen van een föhn.

1 Noteer je meetresultaten.

....

....

....

....

2 Noteer het vermogen dat op het typeplaatje van de föhn vermeld staat.

....

3 Vergelijk het vermogen op het typeplaatje (opdracht 2) met de vermogens die je hebt gemeten (opdracht 1).
Wat is je conclusie?

....

....

....

....

Meting 2: Het energieverbruik van een waterkoker

- Stel op de energiemeter het elektriciteitstarief in op € 0,23.
- Doe een halve liter water in de waterkoker.
- Meet hoeveel elektrische energie nodig is om een halve liter water aan de kook te brengen.

4 Noteer:

- hoelang het duurde om het water aan de kook te brengen;

....

- hoeveel elektrische energie de waterkoker heeft verbruikt;

....

- hoeveel je voor deze hoeveelheid energie moet betalen.

....

5 Bereken het energieverbruik van de waterkoker met behulp van het vermogen op het typeplaatje en de tijdsduur die je bij opdracht 4 hebt opgeschreven.

....

....

....

6 Vergelijk het berekende energieverbruik (opdracht 5) met het gemeten energieverbruik (opdracht 4).
Wat is je conclusie?

....

....

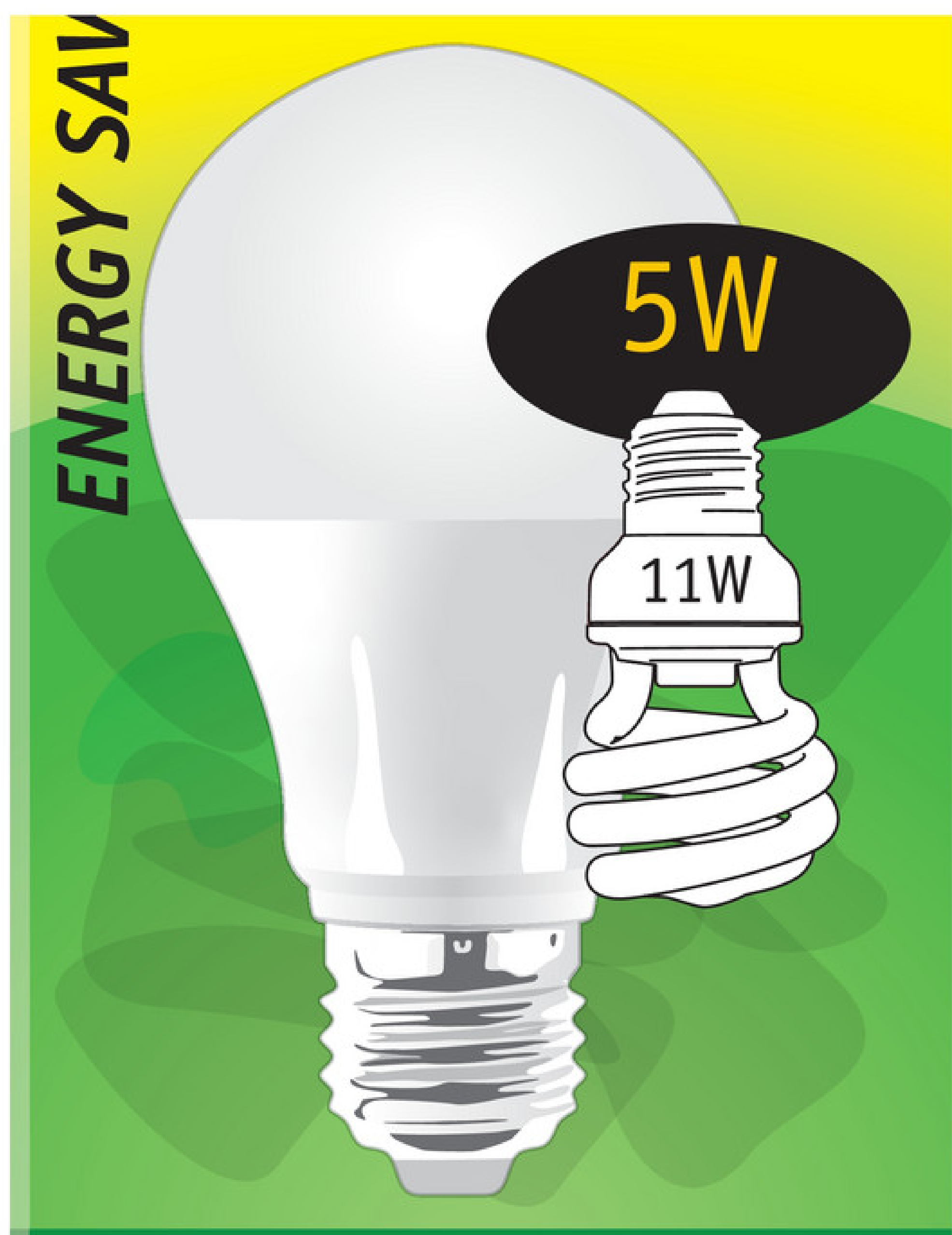
....

....

PROEF 3 EEN ONDERZOEK UITVOEREN: ENERGIE BESPAREN

40 minuten

Inleiding
Stel je voor: op de verpakking van een ledlamp staat een vergelijking met een spaarlamp. Daaruit kun je opmaken dat een spaarlamp minstens twee keer zo zuinig is als een gewone gloeilamp (figuur 3). Jij vraagt je af of die bewering wel klopt.
Hoe zou je dat kunnen nagaan?



figuur 3 Klopt de claim op de verpakking?

Doel
Je zoekt een antwoord op de onderzoeksvraag:
Is een ledlamp minstens 2× zo zuinig als een spaarlamp met dezelfde lichtopbrengst?

Nodig
Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken
- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ziet je proefopstelling eruit? Wat zoek je op en wat ga je meten? Hoe zorg je ervoor dat je metingen herhaalbaar en dus controleerbaar zijn?

1 Zie de vaardigheid *Onderzoek doen*.
Maak een werkplan voor dit onderzoek.
- De werkplannen worden de volgende les met de klas besproken. Verbeter je eigen werkplan daarna nog, indien nodig.
- Voer nu het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten.

- Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

Een supernetwerk voor Europa



Duurzame energie wordt in Europa steeds belangrijker. Er is genoeg zon, wind en waterkracht om heel Europa van elektrische energie te voorzien. Waait het niet in Schotland, dan schijnt de zon wel in Spanje. Het probleem is alleen hoe je de energie daar krijgt, waar ze nodig is. Hoe kun je duurzame elektriciteit van Spanje naar Schotland vervoeren, als Schotland te weinig heeft – of in omgekeerde richting, als Spanje tekortkomt? Het Europese *supergrid* zou een oplossing kunnen zijn.

Een nadeel van duurzame energiebronnen is dat het aanbod zo kan fluctueren. De ene dag waait het flink en draaien de windturbines er vrolijk op los. De volgende dag is het windstil en produceren de windturbines nul komma nul. Zonne-energie is er alleen overdag en het aanbod is in de zomer veel groter dan in de winter.

Door al die fluctuaties hebben landen de ene keer een overschot aan duurzame energie en de andere keer een tekort. Dat is lastig, omdat er nog steeds geen goede transportmogelijkheden zijn. Landen met een overschot kunnen hun surplus aan energie niet kwijt aan de rest van Europa. Landen met een tekort kunnen niet genoeg duurzame elektriciteit importeren. En dus zetten ze hun oude, vervuilende centrales maar weer aan.

DE NORNED-KABEL

Nederland en Noorwegen laten zien dat het ook anders kan. In 2008 namen deze twee landen de NorNed-kabel in gebruik: een 580 km lange, onderzeese hoogspanningskabel tussen Feda in Noorwegen en de Eemshaven in Nederland (figuur 1). Vanaf dat

moment kan Noorwegen elektrische energie leveren aan Nederland, of Nederland aan Noorwegen – het is maar net wat het voordeligst is.

In Noorwegen wordt vrijwel alle stroom geproduceerd met waterkracht uit stuwmeren. Dat is duurzaam en meestal ook goedkoop. Daar staat tegenover dat er in droge jaren grote tekorten kunnen ontstaan. Elektriciteit wordt dan opeens enorm duur. In het noorden van Nederland staan grote elektriciteitscentrales. Die zijn weliswaar niet duurzaam, maar ze kunnen wel op elk gewenst moment elektriciteit leveren.

Het energieverbruik in de twee landen verschilt ook. In Nederland wordt 's nachts maar weinig elektrische energie verbruikt, in Noorwegen is het energieverbruik 's nachts vrij hoog. Nederland heeft nog veel verwarming met aardgas, Noorwegen heeft elektrische verwarming, die 's winters veel energie opslorpt.

Door die verschillen kunnen beide landen van de NorNed-kabel profiteren. Overdag kan Noorwegen goedkope en schone *hydropower* naar Nederland exporteren. 's Nachts kunnen de Nederlandse centrales constant door blijven draaien en stroom de andere kant op leveren, naar Noorwegen. En in droge jaren helpt de Nederlandse stroom voorkomen dat de Noren opeens met tekorten en een torenhoge energierekening worden geconfronteerd.



figuur 2 Converterstation bij de Eemshaven.

HVDC-TECHNOLOGIE

De hoogspanningsleidingen in Europa, ook die in Noorwegen en Nederland, werken met wisselspanning. Dat is een uitstekend systeem, zolang de afstanden maar niet te groot zijn. Tot ongeveer 100 km gaat het prima, maar bij grotere afstanden ontstaan er problemen. Er gaat dan zo veel energie verloren in de kabels, dat het energietransport meer geld kost dan dat het oplevert.

De NorNed-kabel werkt met gelijkspanning. Het is een HVDC-verbinding die *high voltage* (hoogspanning) combineert met *direct current* (gelijkstroom). Er is voor de HVDC-technologie gekozen, omdat gelijkspanning voor grote afstanden efficiënter is dan wisselspanning. Dat maakt het rendabel om elektrische energie over honderden kilometers te vervoeren.

HVDC heeft ook nadelen. De wisselspanning van het gewone elektriciteitsnet moet speciaal voor de NorNed-kabel worden omgezet in gelijkspanning. Aan het andere uiteinde moet van die gelijkspanning weer wisselspanning worden gemaakt. Dat is technisch nog niet zo eenvoudig en vereist veel apparatuur. De converterstations bij Feda en bij de Eemshaven beslaan elk circa twee voetbalvelden (figuur 2).

figuur 1 De NorNed-kabel.

TECHNISCHE GEGEVENS NORNED:

- kabellengte 580 km, waarvan 420 km kabel in ondiep water (tot 50 m diepte) en 160 km kabel op een diepte tot maximaal 410 m
- totale massa kabel: 47 000 ton
- massa koper in kabel: 9000 ton
- maximale spanning op de kabel: + 450 kV en − 450 kV
- maximaal vermogen: 700 MW
- aanlegkosten: 600 miljoen euro



TECHNISCH HOOGSTANDJE

De NorNed-kabel heeft een capaciteit van 700 MW, genoeg om een miljoen huishoudens van elektrische energie te voorzien. Die 700 MW gaat door twee koperen aders met een doorsnede van slechts 3,5 cm. De kabel bestaat verder uit isolatiemateriaal, pantsering en afdichting (figuur 3). Binnen in de kabel loopt de temperatuur op tot 50 °C, aan de buitenkant tot hooguit 35 °C.

In de NorNed-verbinding is veel geavanceerde technologie toegepast. Dat maakt de verbinding ook storingsgevoelig. De kabel lag er in de eerste twee jaren tien keer uit, soms maanden achter elkaar. De oorzaken waren divers: kabelbreuken, kortsluiting, defecte onderdelen, haperende software.

Inmiddels lijken de kinderziekten overwonnen. Economisch is de kabel al vanaf het begin een groot succes. De 600 miljoen euro aanlegkosten waren er in 2014, zes jaar na de ingebruikname, al bijna weer uit. Dat had niemand van tevoren verwacht.

“Investeren moeten we toch – het gaat erom waaraan we ons geld het best kunnen besteden.”

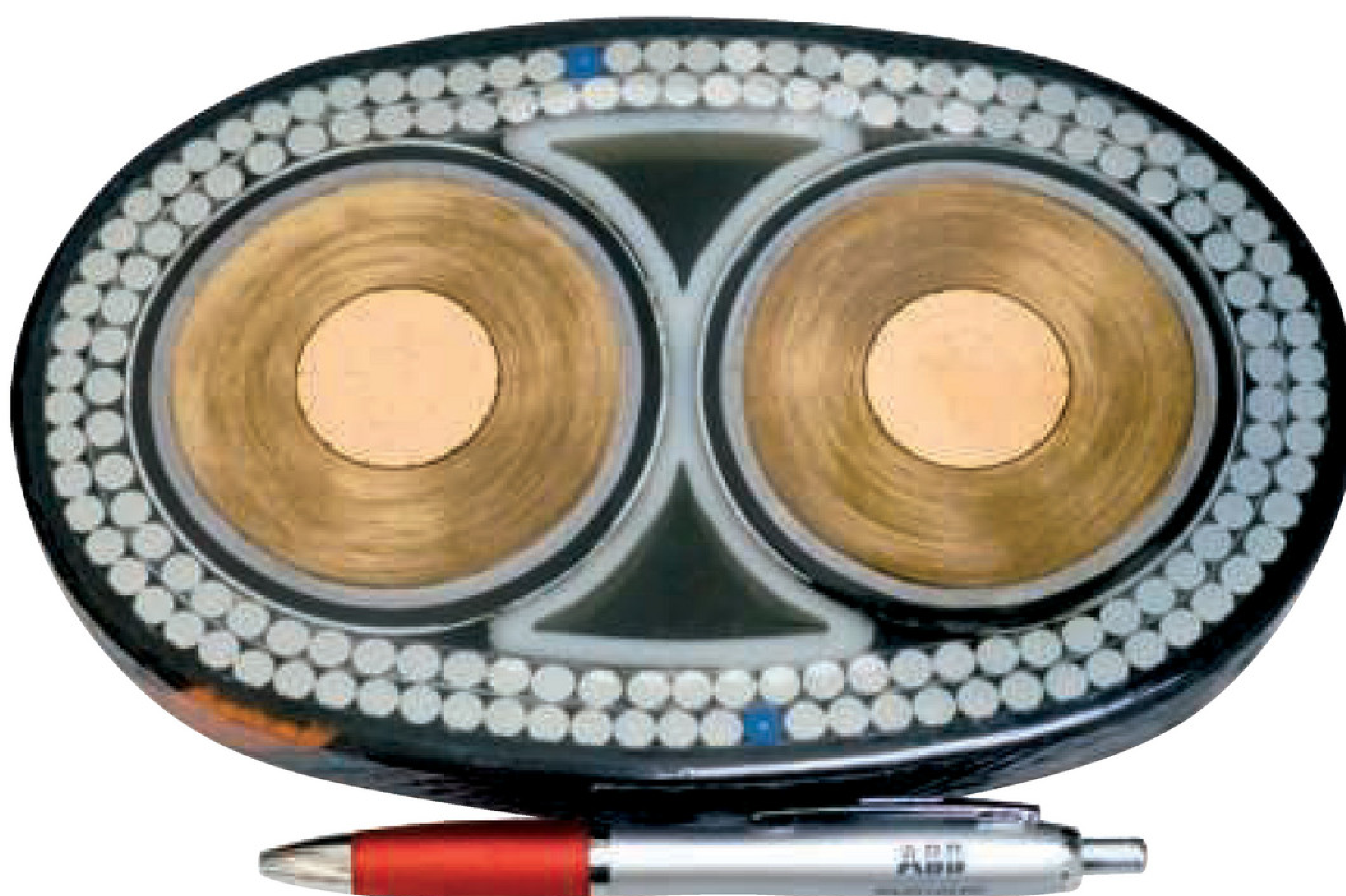
DE TOEKOMST: EEN SUPER-GRID?

Het succes van de NorNed-kabel staat niet op zichzelf. Er zijn meer landen in Europa met een HVDC-verbinding, zoals Frankrijk en Groot-Brittannië (2000 MW, 73 km), Griekenland en Italië (500 MW, 313 km) en Polen en Zweden (254 km, 600 MW). Volgens sommige energiedeskundigen is dit nog maar het begin. Met de huidige HVDC-technologie kan een kabel tot 7000 MW vervoeren over meer dan 2000 km: de afstand tussen Edinburgh in Schotland en Sevilla in Zuid-Spanje. Dat maakt het technisch mogelijk alle landen in Europa te verbinden in één groot Europees supernetwerk.

Zo’n *European supergrid* is goed nieuws voor producenten van duurzame energie. Europa wil een groot deel van zijn elektriciteit duurzaam opwekken. Het supernetwerk maakt dat mogelijk doordat duurzame energie gemakkelijk kan worden geïmporteerd en geëxporteerd: de nationale energiebedrijven kunnen pieken en dalen in het aanbod daardoor veel beter opvangen.

Maar zover is het nog lang niet. Om te beginnen zal er geld op tafel moeten komen. De kosten van een supernetwerk worden geschat op meer dan 125 miljard euro. Geen bedrag dat de landen in Europa zomaar even kunnen vrijmaken. Ook zullen er afspraken moeten komen over het gebruik en het beheer en dat is met zoveel verschillende landen niet eenvoudig.

Energielobbyist Tara Connolly van milieuorganisatie Greenpeace is desondanks optimistisch: “Een groot deel van het huidige netwerk is veertig jaar oud en moet binnenkort worden vervangen. Investeren moeten we toch – het gaat erom waaraan we ons geld het best kunnen besteden.” Zij kiest overtuigd voor een Europees supernetwerk. En nu maar afwachten of Europa het daarmee eens is.



figuur 3 De kabel bestaat uit twee koperen aders met daaromheen isolatiemateriaal, pantsering en afdichting.

OPDRACHTEN

1 Bereken met de gegevens in de tekst:

a hoe groot de (totale) stroomsterkte door de koperen aders is, als het maximale vermogen van de NorNed-kabel wordt benut.

b hoeveel kWh elektrische energie de NorNed-kabel in één dag kan vervoeren van Nederland naar Noorwegen (of omgekeerd).

2 Voor de NorNed-kabel is gebruikgemaakt van de HVDC-technologie.

a Waarom wordt er voor energietransport over lange afstand gekozen voor HVDC-kabels in plaats van gewone hoogspanningslijnen?

b Waarom is HVDC niet geschikt voor het gewone elektriciteitsnet, dat de elektrische energie verdeelt over steden en dorpen?

3 Technisch is het mogelijk een Duits overschot aan windenergie tijdelijk op te slaan in Noorse stuwmeren. Er zijn plannen om hiervoor een HVDC-verbinding te leggen tussen Duitsland en Noorwegen.
Leg uit:

a hoe je een overschot aan duurzame energie in een stuwmeer kunt opslaan.

b hoe het komt dat de opslagcapaciteit beperkt is en niet altijd even groot is.

c op welke manier je de opgeslagen energie weer uit het stuwmeer kunt halen.

Leerstofoverzicht

1.1 ELEKTRISCHE ENERGIE OPWEKKEN

ONTHOUD

- In een elektriciteitscentrale wordt stoom gemaakt door water te verhitten. De stoom drijft een turbine aan waaraan een generator vastzit. De generator wekt wisselspanning op.
- Als een magneet regelmatig in een spoel heen en weer beweegt, ontstaat een wisselspanning (of inductiespanning) tussen de uiteinden van de spoel. Dit verschijnsel noem je inductie.
- In een dynamo is een spoel aangebracht rond een U-vormige kern van weekijzer. Door een magneet in de U-vormige kern rond te draaien wordt het weekijzer steeds verschillend gemagnetiseerd en wordt een inductiespanning tussen de uiteinden van de spoel opgewekt.
- Met de formule $E = P \cdot t$ kun je de energie (E), het vermogen (P) en de tijd (t) berekenen. Je kunt de formule ook schrijven als: $P = \frac{E}{t}$
- Grote getallen kun je vaak handiger schrijven door een voorvoegsel te gebruiken.

BEGRIPPEN

elektriciteitscentrale
Centrale die grote hoeveelheden elektrische energie opwekt.

elektrisch vermogen
1 De hoeveel elektrische energie per seconde die een centrale of turbine aan het netwerk levert.
2 De hoeveel elektrische energie per seconde die een apparaat uit het netwerk opneemt (en verbruikt).

elektrische energie leveren
Het afstaan van elektrische energie aan het elektriciteitsnetwerk door centrales, windturbines, zonnepanelen, enzovoort.

elektrische energie verbruiken
Het verbruiken van elektrische energie door elektrische apparaten (waarbij de elektrische energie wordt omgezet in andere soorten energie).

generator
Onderdeel van een elektriciteitscentrale dat werkt als een grote dynamo: bewegingsenergie wordt ermee omgezet in elektrische energie.

inductie
Het opwekken van een wisselspanning aan de uiteinden van een spoel met behulp van een veranderend magneetveld.

inductiespanning
Wisselspanning die met behulp van een veranderend magneetveld is opgewekt.

magneetveld
Gebied waarin een magneet krachten uitoefent.

spoel
Een spiraal van geïsoleerd koperdraad.

turbine
Onderdeel van een elektriciteitscentrale dat bestaat uit een as, waaraan een groot aantal schoepen is bevestigd. Doordat er stoom tegen de schoepen spuit, komt de as van de turbine in beweging.

veldlijnen
Lijnen die de richting van een magneetveld aangeven.

weekijzer
Soort ijzer dat snel kan worden gemagnetiseerd en gedemagnetiseerd.

wisselspanning
Spanning die voortdurend in een golfpatroon van plus naar min wisselt, zoals de spanning op het lichtnet.

1.2 ELEKTRISCHE ENERGIE VERVOEREN

ONTHOUD

- In hoogspanningskabels kun je de warmteontwikkeling klein houden door een hoge spanning (380 kV) te gebruiken. Na vervoer wordt de spanning in twee stappen verlaagd naar 230 V.
- Een constante spanning die niet verandert, noem je een gelijkspanning. Een wisselspanning is een veranderlijke spanning die meerdere keren per seconde van een positieve spanning naar een negatieve spanning wisselt.
- Een transformator bestaat uit een primaire spoel, een secundaire spoel en een weekijzeren kern. Een transformator werkt alleen op wisselspanning.
- Voor het verband tussen de primaire en secundaire spanning in de transformator geldt de formule: $\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s}$

BEGRIPPEN

effectieve spanning
De ‘gemiddelde’ spanning van een wisselspanning. Als je rekent met een wisselspanning, bijvoorbeeld om het vermogen uit te rekenen, gebruik je altijd de effectieve spanning.

elektromagneet
Een elektrisch onderdeel, zoals een spoel, dat zich onder invloed van een elektrische stroom als een magneet gedraagt.

energieverlies
Het gegeven dat er elektrische energie verloren gaat tijdens het transport, doordat een deel van die energie wordt omgezet in warmte.

frequentie
Aantal keer dat het golfpatroon van de spanning zich per seconde herhaalt.

ideale transformator
Een denkbeeldige transformator waarin geen elektrische energie verloren gaat: het opgenomen vermogen is gelijk aan het afgestane vermogen.

netspanning
Spanning van effectief 230 V, zoals je die thuis gebruikt.

polariteit
Aanduiding voor de richting van de spanning. Als de plus en min omwisselen (en de stroomrichting omdraait), verandert de polariteit van de spanning van positief in negatief.

primaire spoel
Onderdeel van een transformator waar de elektrische energie uit het lichtnet in gaat. Er loopt wisselstroom doorheen.

secundaire spoel
Onderdeel van een transformator dat elektrische energie aan een apparaat afgeeft.

transformator
Apparaat dat een wisselspanning kan omzetten in een hogere of lagere wisselspanning met behulp van twee spoelen om een weekijzeren kern.

1.3 ELEKTRICITEIT IN HUIS

ONTHOUD

- Je berekent de totale stroomsterkte in een groep door de stroomsterkten van alle takken bij elkaar op te tellen; in formulevorm: $I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3$
- In een huisinstallatie worden verschillende soorten draden gebruikt. De bruine draad is de fasedraad. Hierop staat wisselspanning van 230 V. De blauwe draad is de nuldraad. Hierop staat geen spanning. De zwarte draad is de schakeldraad. Hierop staat alleen spanning als de schakelaar in de AAN-stand staat.
- Met de formule $P = U \cdot I$ kun je het vermogen (P), de spanning (U) en de stroomsterkte (I) berekenen.
- Je berekent het totale vermogen in een groep door de vermogens van alle apparaten die aanstaan bij elkaar op te tellen; in formulevorm: $P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3$. Als je de totale stroomsterkte en de spanning weet, kun je de totale stroomsterkte ook berekenen met de formule: $P_{tot} = U \cdot I_{tot}$
- 1 kWh is gelijk aan $3{,}6 \cdot 10^6$ J.

BEGRIPPEN

fasedraad
Bruine elektriciteitsdraad waarop een wisselspanning van 230 V staat.

groepsschakelaar
Schakelaar waarmee je in één keer de spanning van alle stopcontacten en lichtpunten in een groep kunt halen.

huisinstallatie
Een netwerk van elektriciteitsdraden dat door de muren en plafonds van een huis loopt: van de meterkast naar de stopcontacten en andere aansluitpunten.

kWh-meter of energiemeter
Meter die het verbruik van elektrische energie in huis meet. De kWh-meter is zo genoemd omdat het verbruik wordt afgerekend in kWh (kilowattuur).

nuldraad
Blauwe elektriciteitsdraad die de stroomkring afmaakt. Op deze draad staat geen spanning.

schakeldraad
Zwarte elektriciteitsdraad die van een schakelaar naar een apparaat loopt en waar alleen spanning op staat als de schakelaar in de AAN-stand staat.

1.4 ELEKTRICITEIT EN VEILIGHEID

ONTHOUD

- Als de stroomsterkte in een groep te groot wordt, doordat er te veel apparaten tegelijk worden aangezet, dan noem je dat overbelasting. Als de stroom een andere weg met een kleine weerstand kan nemen, dan noem je dat kortsluiting.
- Gevaren van elektriciteit zijn:
  – ontstaan van brand door een te grote stroom door elektriciteitsleidingen;
  – krijgen van een schok, doordat er stroom door je lichaam loopt.
- Groepszekeringen en installatieautomaten schakelen de stroom in een groep uit als de stroomsterkte door die groep te groot wordt.
- Een apparaat dat dubbel is geïsoleerd heeft normale isolatie rond de onderdelen waar de stroom doorheen loopt, en een tweede isolatielaag.
- Een aardlekschakelaar meet de stroom die een groep in gaat, en de stroom die terugkomt. Is dit verschil groter dan 30 mA doordat er stroom weglekt, dan schakelt de aardlekschakelaar de stroom uit.
- Als de metalen buitenkant van een apparaat onder spanning staat, dan zorgt de randaarde ervoor dat er een stroom gaat lopen naar de aarde, waardoor de aardlekschakelaar de stroom uitschakelt.

BEGRIPPEN

aarddraad
Een koperdraad met groengeel gestreepte isolatie die de rand van het stopcontact verbindt met een pin die in de aarde is geslagen.

aardlekschakelaar
Voorziening die de stroomsterkte in de fasedraad vergelijkt met de stroomsterkte in de nuldraad. Als het verschil groter wordt dan 30 mA, dan schakelt de aardlekschakelaar de stroom uit. Er kan dan geen stroom meer weglekken.

contactweerstand
De weerstand op de plaatsen waar de stroom het lichaam in- of uitgaat (hoe groter de weerstand, des te kleiner de stroom).

dubbele isolatie
Manier van isoleren waarbij twee lagen isolatie worden aangebracht: rond de onderdelen waar de stroom doorheen loopt en aan de buitenkant van het apparaat.

groepszekering
Voorziening die de stroom uitschakelt als de stroomsterkte in de groep hoger wordt dan 16 A.

installatieautomaat
Een elektronische zekering. Als de zekering de stroom uitschakelt, klapt een hefboompje om.

kortsluiting
Zo noem je een fout in een stroomkring waardoor de stroom een gemakkelijke weg vindt van fase- naar nuldraad, met een veel te kleine weerstand.

lichaamsweerstand
De weerstand die je lichaam biedt aan een elektrische stroom (hoe groter de weerstand, des te kleiner de stroom).

overbelasting
Zo noem je het inschakelen van te veel apparaten in een groep waardoor de totale stroomsterkte boven 16 A komt.


Ga naar de *Flitskaarten* en de *Diagnostische toets*.

2 Krachten

SPIERKRACHT TEGENOVER ZWAARTEKRACHT

Krachten spelen een belangrijke rol in je leven. Of je nu loopt, rent of fietst, een hap uit een appel neemt of alleen maar ademhaalt: je spieren moeten er krachten voor uitoefenen. Je kunt je spierkracht ook gebruiken voor het overwinnen van de zwaartekracht, bijvoorbeeld als je een rots beklimt.





Wat weet je al over krachten?

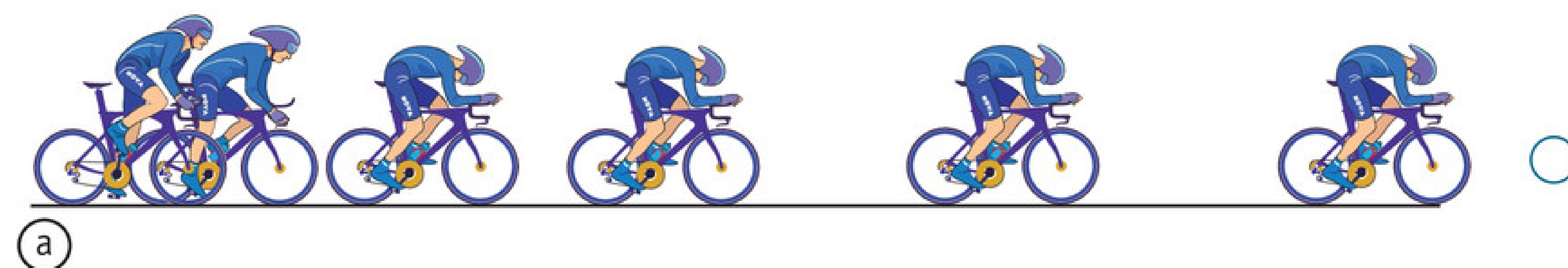
LEERDOELEN

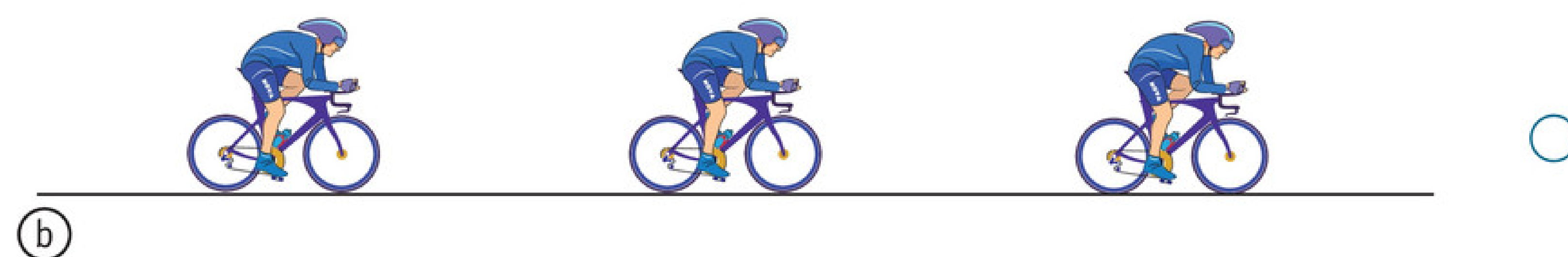
1. Je kunt uitleggen hoe de snelheid verandert bij een eenparige, versnelde en vertraagde beweging.
2. Je kunt de massa van een hoeveelheid stof bepalen en weergeven in kg of g.
3. Je kunt het verschil tussen massa en gewicht uitleggen.

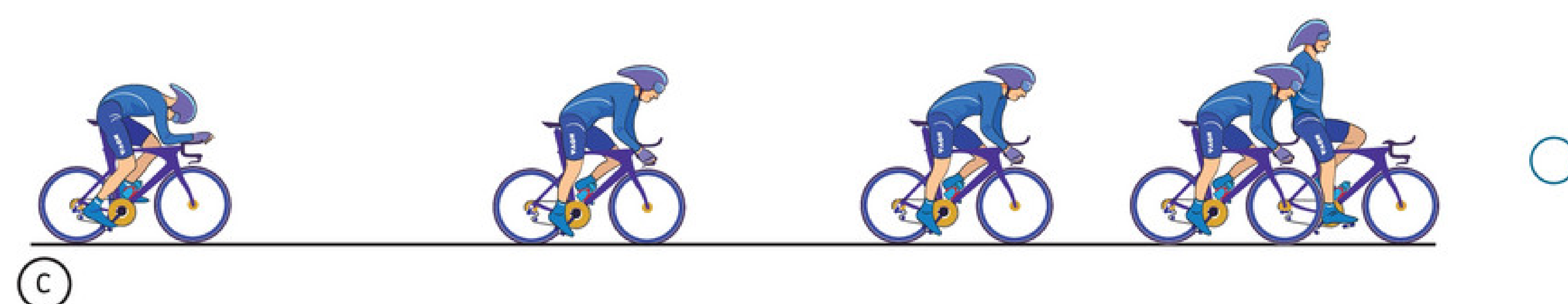
In deel 1-2 van Nova nask heb je al een aantal dingen geleerd over beweging, massa en gewicht. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

OPDRACHTEN VOORKENNIS

1 Bekijk de drie afbeeldingen van een beweging en de drie begrippen.
Trek een lijn van elke beweging naar het juiste begrip.


a ○ — ○ 1 vertraagde beweging


b ○ — ○ 2 versnelde beweging


c ○ — ○ 3 eenparige beweging

2 Bekijk de drie soorten bewegingen en de drie omschrijvingen.
Trek een lijn van elke beweging naar de juiste omschrijving.

A	eenparige beweging ○	○ 1	een beweging waarvan de snelheid steeds kleiner wordt
B	versnelde beweging ○	○ 2	een beweging met een constante snelheid
C	vertraagde beweging ○	○ 3	een beweging waarvan de snelheid steeds groter wordt

3 Reken om.

0,980 kg = ... g

125 g = ... kg

28 mg = ... g

0,375 g = ... mg

4

In de natuurkunde zijn massa en gewicht twee verschillende dingen. *De massa* / *Het gewicht* geeft aan uit hoeveel stof een voorwerp bestaat. *De massa* / *Het gewicht* is de kracht waarmee het voorwerp aan je handen trekt (als je het optilt), of op de vloer drukt (als je het neerzet).
Hoe groot *de massa* / *het gewicht* is, hangt niet alleen af van *de massa* / *het gewicht*, maar ook van de sterkte van de zwaartekracht. In het dagelijks leven maak je geen verschil tussen massa en gewicht, omdat de zwaartekracht op aarde toch overal even groot is. Maar als je de aarde verlaat, geldt dat niet meer.
Astronauten weten heel goed dat hun *gewicht* / *massa* enorm kan veranderen, terwijl hun *gewicht* / *massa* gelijk blijft. Op de maan heeft een voorwerp minder *gewicht* / *massa* dan op de aarde.



Wil je weten of je voldoende voorkennis hebt voor dit hoofdstuk, maak dan online de *Voorkennistoets*. Daar vind je ook filmpjes over de belangrijkste leerdoelen voor dit hoofdstuk.

1 Soorten krachten

LEERDOELEN

2.1.1 Je kunt uitleggen welke veranderingen een kracht kan veroorzaken.
2.1.2 Je kunt vijf verschillende soorten krachten noemen en beschrijven.
2.1.3 Je kunt de grootte van een kracht meten.
2.1.4 Je kunt de zwaartekracht op een massa berekenen.
2.1.5 Je kunt een krachtenschaal gebruiken om een kracht op schaal te tekenen.
2.1.6 Je kunt het zwaartepunt van een voorwerp bepalen.
PLUS 2.1.7 Je kunt beredeneren waar het zwaartepunt van een voorwerp zich bevindt.

Bij het woord 'krachten' kun je denken aan de spierkracht, maar ook aan de veerkracht, de zwaartekracht, enzovoort. Je herkent krachten aan het effect dat ze hebben. De kracht die de wind uitoefent zie je niet, maar je ziet wel hoe een boom bij harde wind doorbuigt en heen en weer zwaait.

KRACHTEN HERKENNEN

Als er een **kracht** op je lichaam wordt uitgeoefend, kun je dat vaak voelen. Bijvoorbeeld als iemand je een duw geeft of als het stevig waait. Krachten die op andere mensen of op voorwerpen worden uitgeoefend, kun je niet zien of voelen. Je kunt alleen zien welke verandering een kracht veroorzaakt. Uit die verandering kun je opmaken dat er een kracht heeft gewerkt, of nog steeds werkt.

Krachten kunnen de beweging van een voorwerp veranderen. Bij een volleybalwedstrijd gebeurt dat voortdurend. De snelheid van de bal neemt toe als een speler de bal smasht. De snelheid neemt af als een speler een harde bal 'stopt'. De richting van de bal verandert als de spelers tegen de bal tikken of slaan.

Krachten kunnen ook de vorm van een voorwerp veranderen. Dat zie je als een boogschutter zijn boog spant of als een turnster na een salto weer op de trampoline neerkomt. Bij balsporten vervormt de bal bij elk balcontact, al is dat met het blote oog moeilijk te zien (figuur 1).



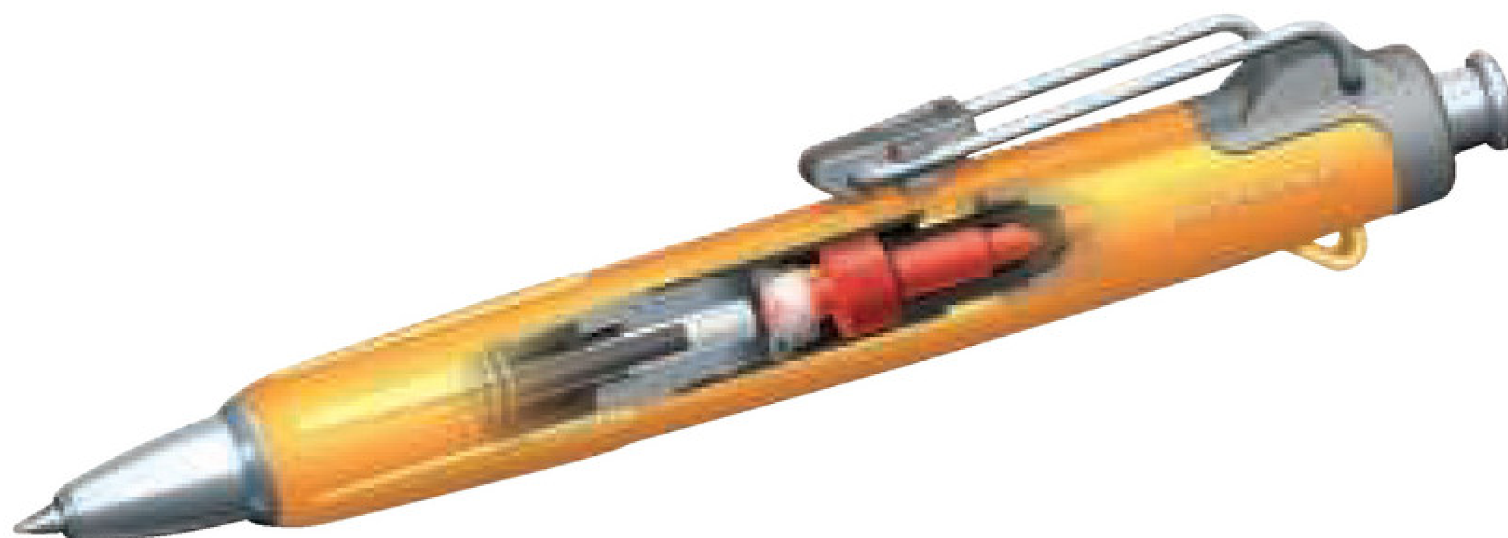
figuur 1 De bal vervormt elastisch. Voor de neus van de speler is dat nog maar de vraag.

Een vervorming kan **elastisch** zijn (van het Griekse *elastos* = rekbaar) of **plastisch** (van het Griekse *plasma* = boetseerwerk). Bij een elastische vervorming komt de oorspronkelijke vorm van het voorwerp weer terug als de kracht ophoudt te werken. Dat zie je bij een matras of een fietsband. Bij een plastische vervorming wordt het voorwerp blijvend vervormd, zoals bij klei.

SOORTEN KRACHTEN

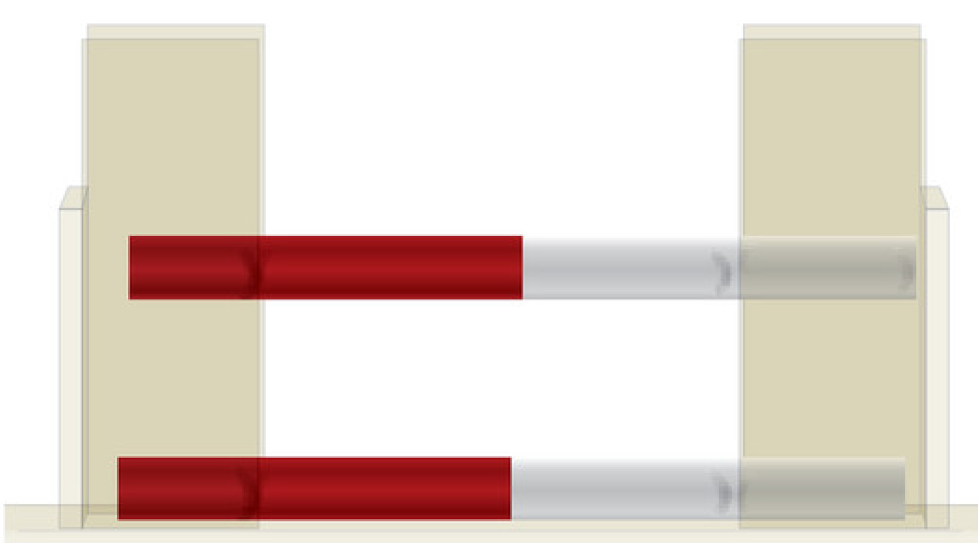
Er zijn allerlei soorten krachten, zoals de spierkracht, de veerkracht, de zwaartekracht en magnetische krachten. Al deze krachten duid je aan met het symbool F (van het Engelse *force*). Om duidelijk te maken over welke kracht je het hebt, kun je met kleine letters het soort kracht aangeven. Bijvoorbeeld F_{spier} voor de spierkracht, F_{veer} voor de veerkracht, enzovoort.

Een aantal voorbeelden van krachten:
- Als je een softbal weggooit, oefent je hand een kracht uit op de bal. Als je fietst, oefenen je voeten een kracht uit op de pedalen. In beide gevallen gebruik je je **spierkracht**. De spierkracht ontstaat doordat de spieren in je lichaam zich samentrekken.
- Als je een balpen indrukt, voel je de spiraalveer via het knopje terugduwen tegen je duim (figuur 2). Deze kracht noem je **veerkracht**. Veerkracht ontstaat als je een veerkrachtig materiaal uitrekt of indrukt. De veerkracht verdwijnt weer als het materiaal zijn oude vorm terugkrijgt.



figuur 2 Als je een balpen indrukt, voel je de veerkracht.

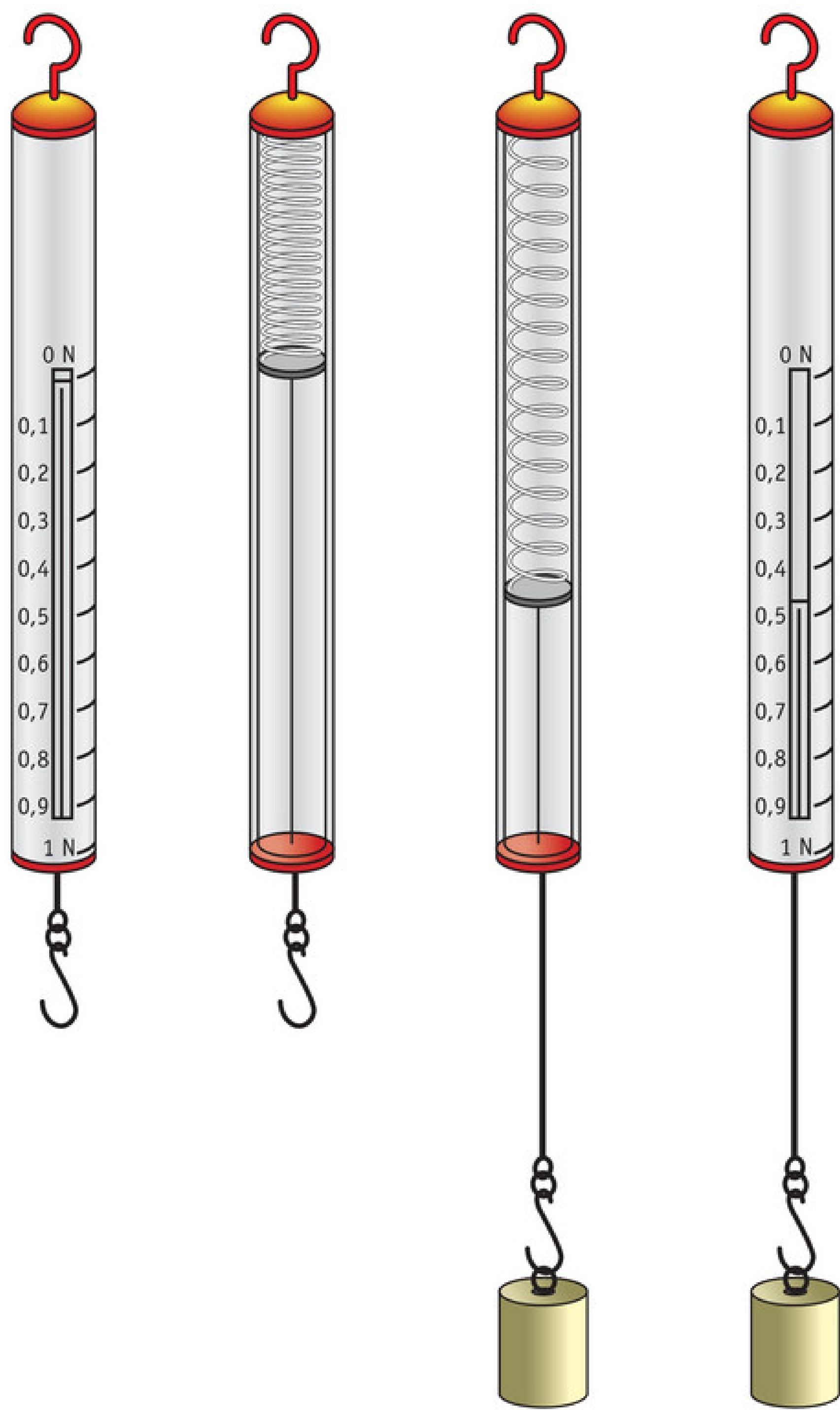
- Als je een slee aan een touw vooruit trekt in de sneeuw, dan ontstaat in het touw een kracht. Deze kracht noem je de **spankracht**.
- Als je je schoolboeken optilt, dan voel je hoe zwaar de boeken zijn. Als je de boeken daarna loslaat, dan vallen ze recht naar beneden. Dit is het effect van de **zwaartekracht**. De zwaartekracht is de kracht die jou en alles om je heen naar beneden trekt.
- Als je twee staafmagneten bij elkaar houdt, voel je dat er tussen de polen (uiteinden) **magnetische krachten** werken. Een noordpool en een zuidpool trekken elkaar aan, maar twee noordpolen stoten elkaar af, net als twee zuidpolen. Die afstoting verklaart waarom in figuur 3 de bovenste magneet blijft zweven.



figuur 3 Magnetische kracht: de twee magneten stoten elkaar af.

KRACHTEN METEN

Krachten kun je meten met een **krachtmeter**. In zo'n krachtmeter zit een spiraalveer. Hoe groter de kracht waarmee aan de krachtmeter wordt getrokken, des te verder rekt de veer uit (figuur 4). Voor het meten van grote krachten gebruik je een krachtmeter met een stugge veer. Voor het meten van kleine krachten gebruik je een krachtmeter met een soepele veer. Er bestaan ook krachtmeters die je moet indrukken.



figuur 4 Zo werkt een krachtmeter.

Op een krachtmeter staat een schaalverdeling in newton. Newton (N) is de eenheid waarin alle krachten worden gemeten: van de aantrekkingskracht tussen twee magneten tot de zwaartekracht op het aardoppervlak. Deze eenheid is genoemd naar de Engelse natuurkundige Isaac Newton (1642–1727).

Op aarde is er een eenvoudig verband tussen de zwaartekracht en de massa van een voorwerp. Om de zwaartekracht op een voorwerp te vinden, moet je de massa vermenigvuldigen met 9,8. Je kunt deze rekenregel ook schrijven in letters:

$$F_z = m \cdot g$$

Hierin is:
- F_z de zwaartekracht in newton (N);
- m de massa in kilogram (kg);
- g de sterkte van de zwaartekracht aan het aardoppervlak in newton per kilogram (N/kg).

Op aarde is g gelijk aan 9,8 N/kg (eigenlijk 9,81 N/kg, maar zo precies hoef je in dit hoofdstuk nog niet te zijn). Op andere hemellichamen heeft g een heel andere waarde. Een krachtmeter zou op de maan 1,6 N aangeven als je er een steen van 1,0 kg aan zou hangen. De waarde van g is daar maar 1,6 N/kg, ongeveer een zesde van de waarde op aarde. Zie ook het overzicht in tabel 1.

tabel 1 De sterkte van de zwaartekracht op enkele hemellichamen.

hemellichaam	waarde van *g* (N/kg)
aarde	9,8
maan	1,6
Mars	3,7
Mercurius	3,7
Titan	1,4
Venus	8,9

KRACHTEN TEKENEN

Een kracht heeft een grootte, een richting en een aangrijpingspunt. Een grootheid met deze eigenschappen wordt een **vector** genoemd. Een vector teken je als een pijl. Dat geldt ook voor krachten.

- De lengte van de pijl geeft de grootte van de kracht aan.
- De richting van de pijl geeft de richting van de kracht aan.
- Het beginpunt van de pijl geeft het aangrijpingspunt van de kracht aan.

Als je een kracht gaat tekenen, kies je eerst een **krachtenschaal**. Bijvoorbeeld: 1 cm ≙ 5 N. Dat betekent dat een pijl met een lengte van 1 cm een kracht van 5 N voorstelt. Een kracht van 15 N teken je op deze schaal als een pijl van 3 cm.

Let altijd goed op waar je de pijl laat beginnen. Als je in de tekening van figuur 5 de spierkracht wilt tekenen, moet de pijl beginnen op de plaats waar de handen tegen de boot duwen: daar ligt het aangrijpingspunt.



figuur 5 De spierkracht die wordt uitgeoefend op een boot.

HET ZWAARTEPUNT

De zwaartekracht werkt op alle punten van een voorwerp. Je zou dus eigenlijk overal in het voorwerp kleine vectoren moeten tekenen, maar dat is niet handig. In plaats daarvan teken je één kracht vanuit het **zwaartepunt** Z. Die ene kracht vanuit Z heeft hetzelfde effect als alle kleine zwaartekrachtjes samen. Bij een eenvoudig voorwerp, zoals een bol of een kubus, ligt het zwaartepunt midden in het voorwerp.

Je kunt het zwaartepunt van een voorwerp vinden door het voorwerp op je wijsvinger te laten balanceren. Als het voorwerp in evenwicht is, bevindt je vinger zich precies onder Z. Je kunt natuurlijk ook een ander steunpunt gebruiken, zoals de surfer in figuur 6 laat zien.

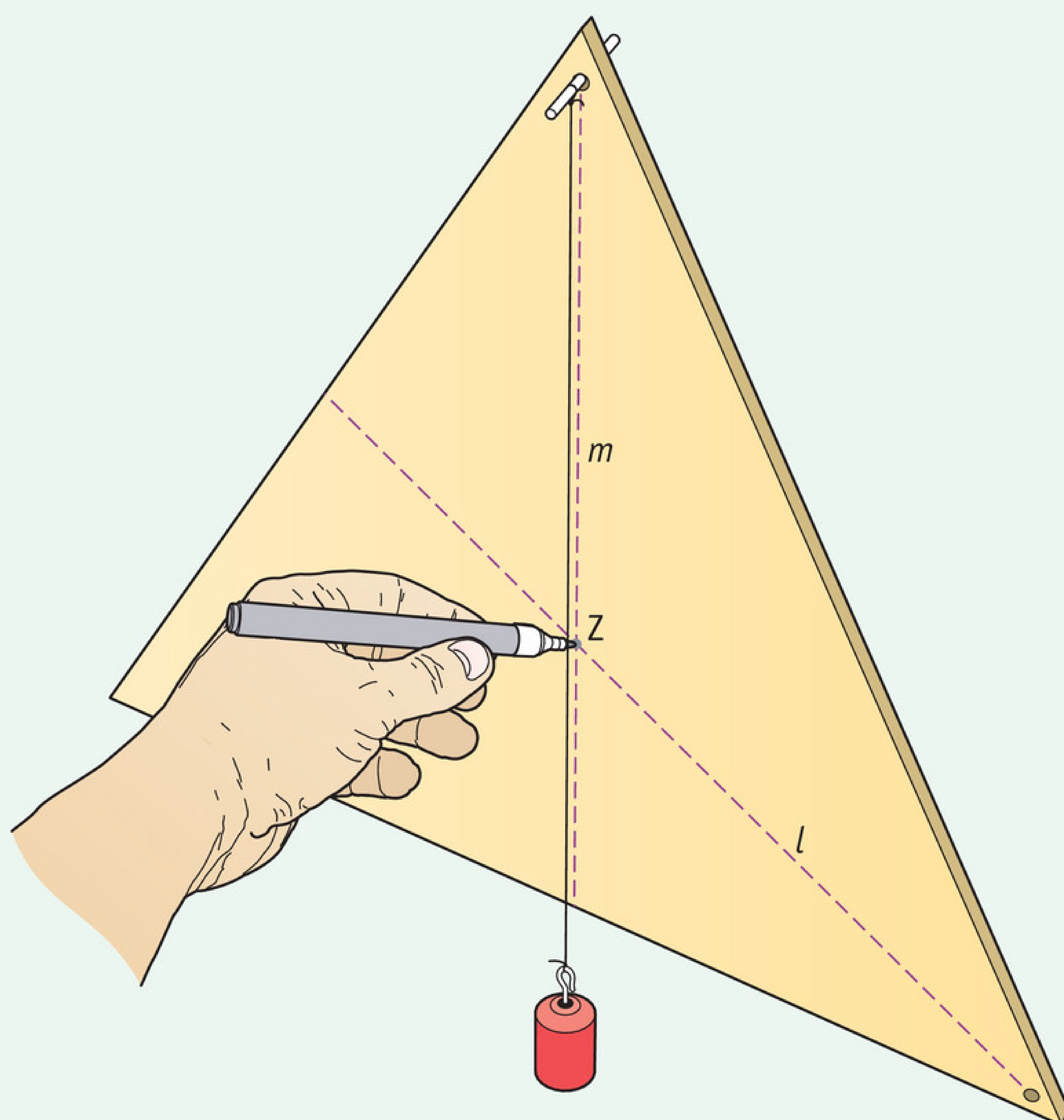


figuur 6 Het zwaartepunt van de surfplank bevindt zich recht boven het hoofd van de surfer.

PLUS HET ZWAARTEPUNT BEPALEN

Bij eenvoudige symmetrische voorwerpen zoals een cirkel of een vierkant ligt het zwaartepunt precies in het midden. Bij ingewikkeldere voorwerpen kun je de plaats van het zwaartepunt als volgt bepalen:

- Hang het voorwerp op. Teken vanuit het ophangpunt met behulp van een gewicht aan een touwtje een lijn *l* recht naar beneden.
- Hang het voorwerp aan een ander ophangpunt op. Teken vanuit dit tweede ophangpunt een lijn *m* recht naar beneden.
- De lijnen *l* en *m* snijden elkaar in Z. Z is het zwaartepunt (figuur 7).



figuur 7 Zo bepaal je het zwaartepunt.

 Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Waaraan kun je zien dat er een kracht op een voorwerp wordt uitgeoefend?
b Wat is het verschil tussen een elastische en een plastische vervorming?
c Hoe groot is de zwaartekracht op een voorwerp met een massa van 10 kg?
d Wat betekent 1 cm ≙ 15 N?

2 Een kracht kun je tekenen als een pijl.

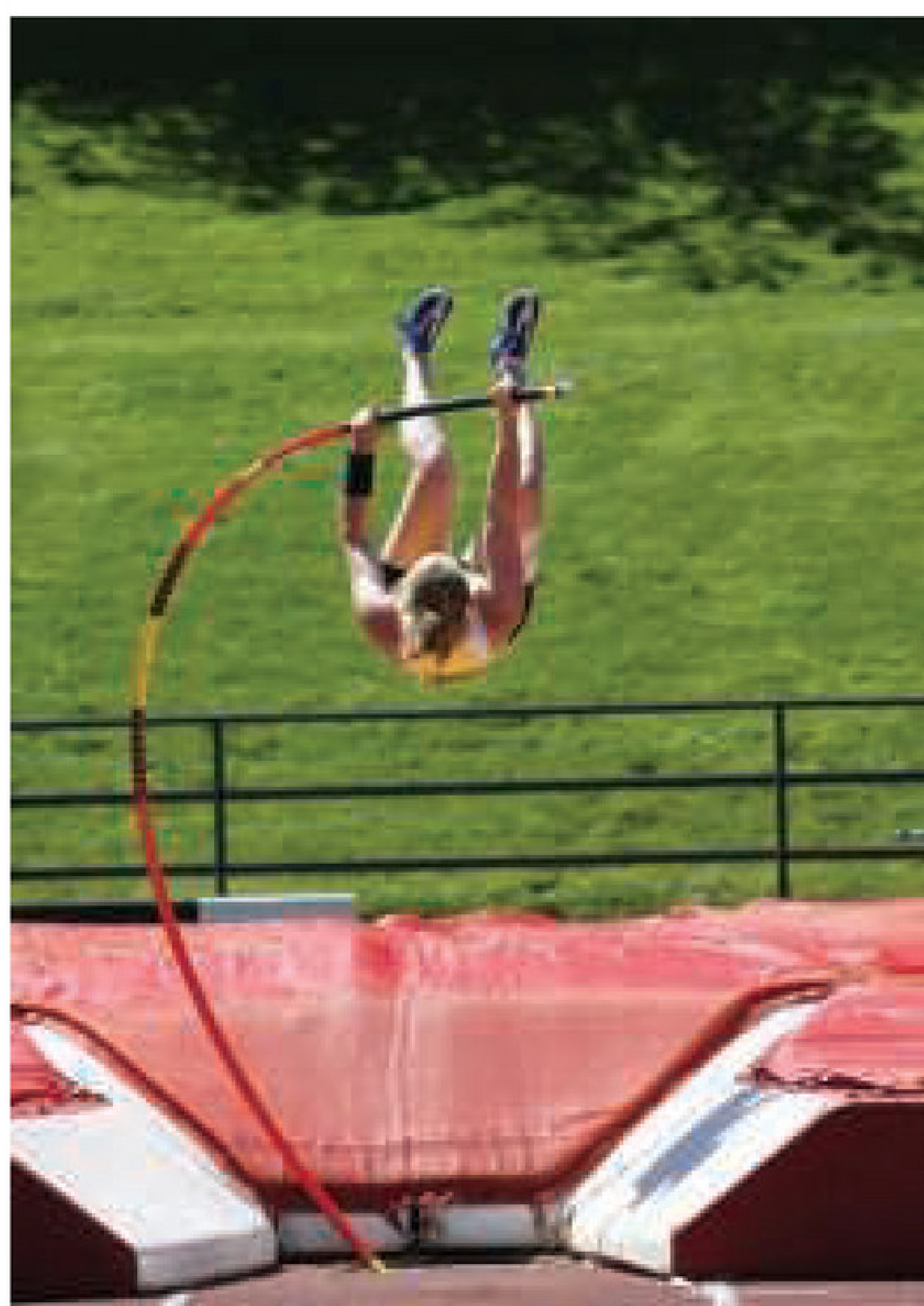
a Wat geeft de richting van de pijl aan?
b Wat geeft de stip aan het begin van de pijl aan?
c Wat geeft de lengte van de pijl aan?

TOEPASSING

3 Schrijf voor elk van de volgende situaties op:

- of de vervorming elastisch of plastisch is;
- hoe de kracht heet die de vervorming veroorzaakt.

a Marie ploft neer op een lekker zachte tweezitsbank.
b Een koorddanser loopt over een strakgespannen koord.
c Een loodgieter maakt een bocht in een koperen buis.
d Een atleet hangt aan een doorbuigende polsstok (figuur 8).



figuur 8 Welke krachten spelen hier een rol?

4 Erwin rekt een elastiek uit om zijn armspieren te trainen (figuur 9).

a De kracht die ervoor zorgt dat het elastiek een flink eind uitrekt heet de ....

b De kracht die het elastiek op de handen van Erwin uitoefent heet de ....

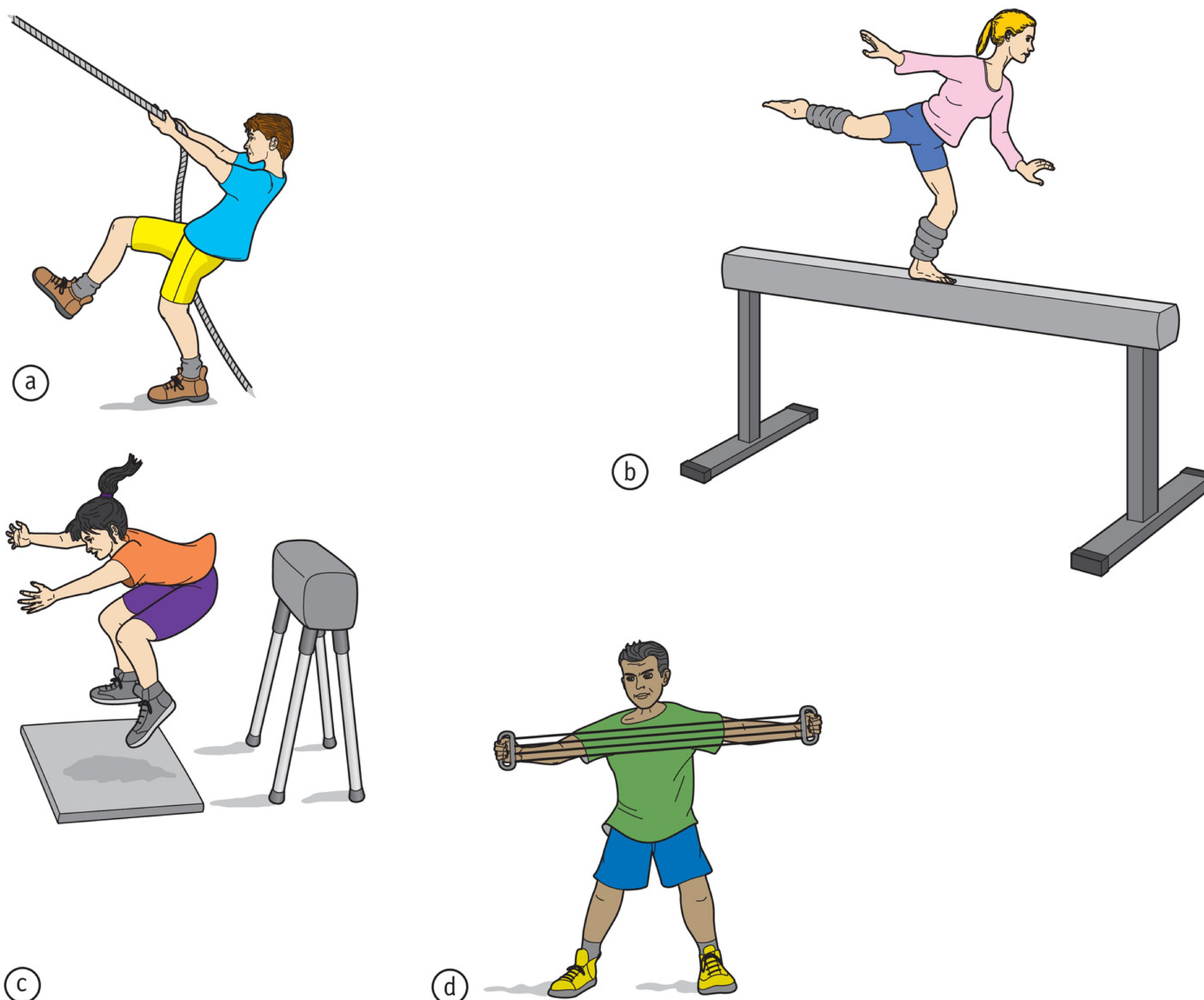


figuur 9 Erwin traint zijn armspieren.

5 Teken in figuur 10 de volgende krachten. Neem als krachtenschaal 1 cm ≙ 100 N.

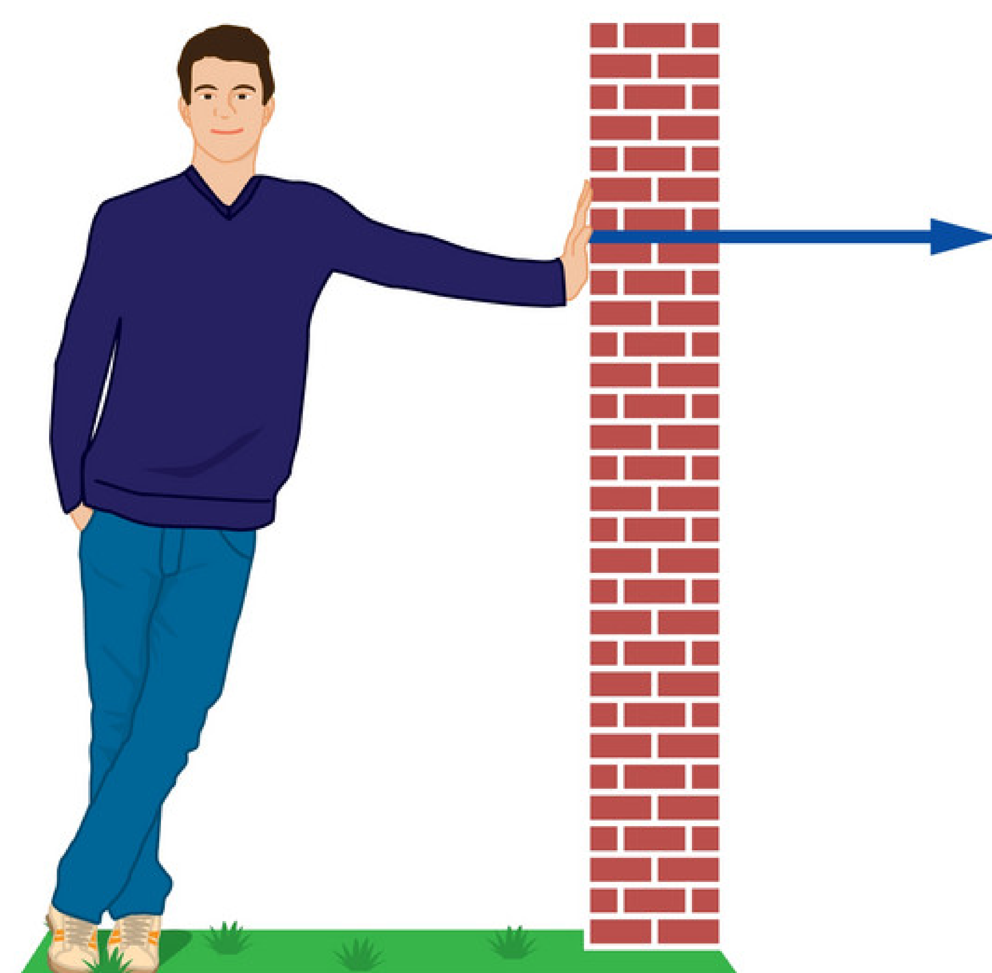
a de kracht van 400 N waarmee Jaap-Jan aan het touw trekt (a)
b de kracht van 450 N waarmee Thea's voet op de balk drukt (b)
c de kracht van 500 N waarmee de aarde aan Marjolein trekt (c)
d de twee krachten van 150 N die de expander op Pim uitoefent (d)

figuur 10 Vier krachten.



6 In figuur 11 is de kracht getekend die Steven met zijn hand op de muur uitoefent. Welke krachtenschaal heeft de tekenaar gebruikt:

a als de kracht op de muur 46 N is?
b als de kracht op de muur 69 N is?

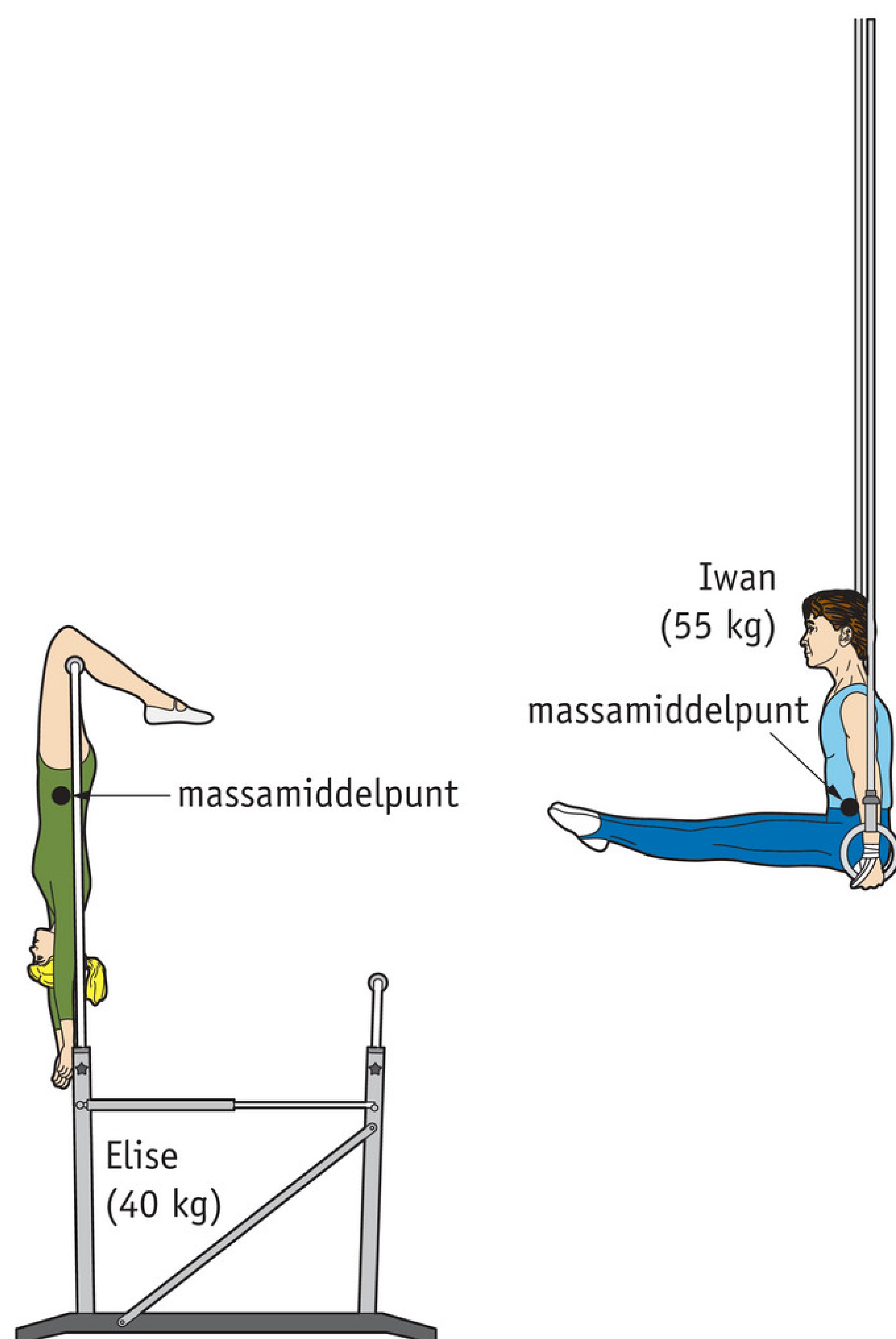


figuur 11 De kracht van de hand op de muur.

7 In figuur 12 zie je twee turners die een strijd tegen de zwaartekracht voeren.

a Bereken hoe groot de zwaartekracht op Elise en op Iwan is.

b Teken in elke tekening de zwaartekracht als een pijl.
Gebruik als krachtenschaal 1 cm ≙ 200 N.



figuur 12 Elise en Iwan voeren een strijd tegen de zwaartekracht.

★ 8 Op 21 juli 1969 liep Neil Armstrong als eerste mens op de maan. Zijn massa was op dat moment 160 kg, zijn ruimtepak meegerekend.

a Bereken de zwaartekracht die tijdens die eerste maanwandeling op Neil Armstrong werkte.

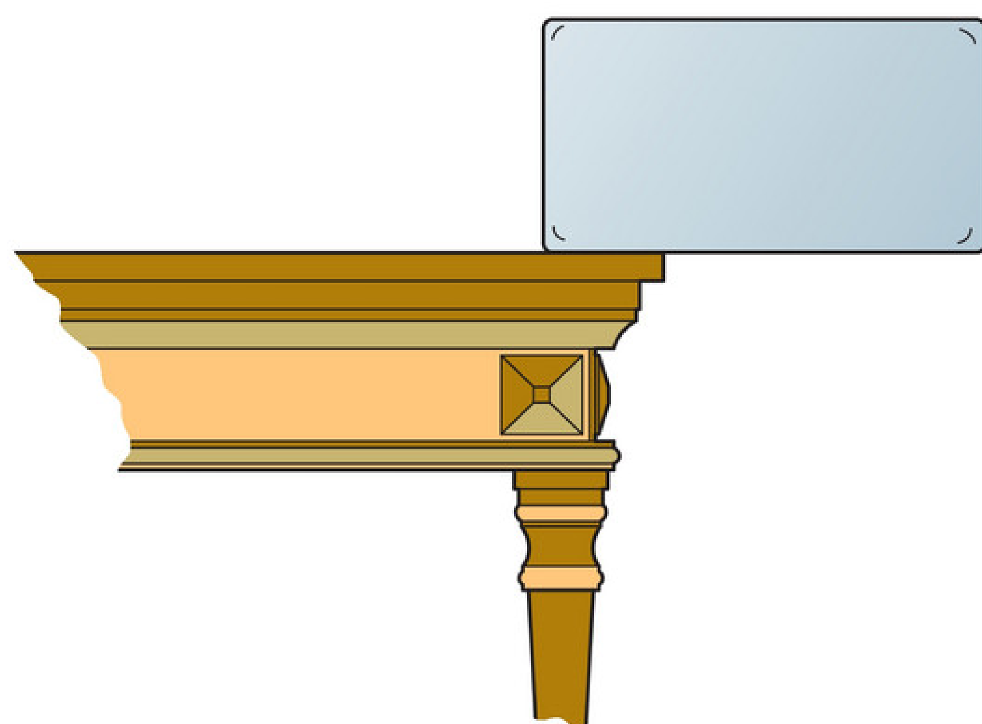
b Beredeneer in welke situatie de zwaartekracht op Armstrong het grootst was: met ruimtepak op de maan of zonder ruimtepak op aarde?

9 Een doos steekt een eind buiten de tafel uit (figuur 13). Toch valt de doos niet van de tafel.

a Geef in de figuur met rood aan wat het steunvlak van de doos is.

b Kleur in de figuur het deel van de doos waar zich het zwaartepunt bevindt, blauw.

c Hoe zou je ervoor kunnen zorgen dat het zwaartepunt zich in dit deel van de doos bevindt?



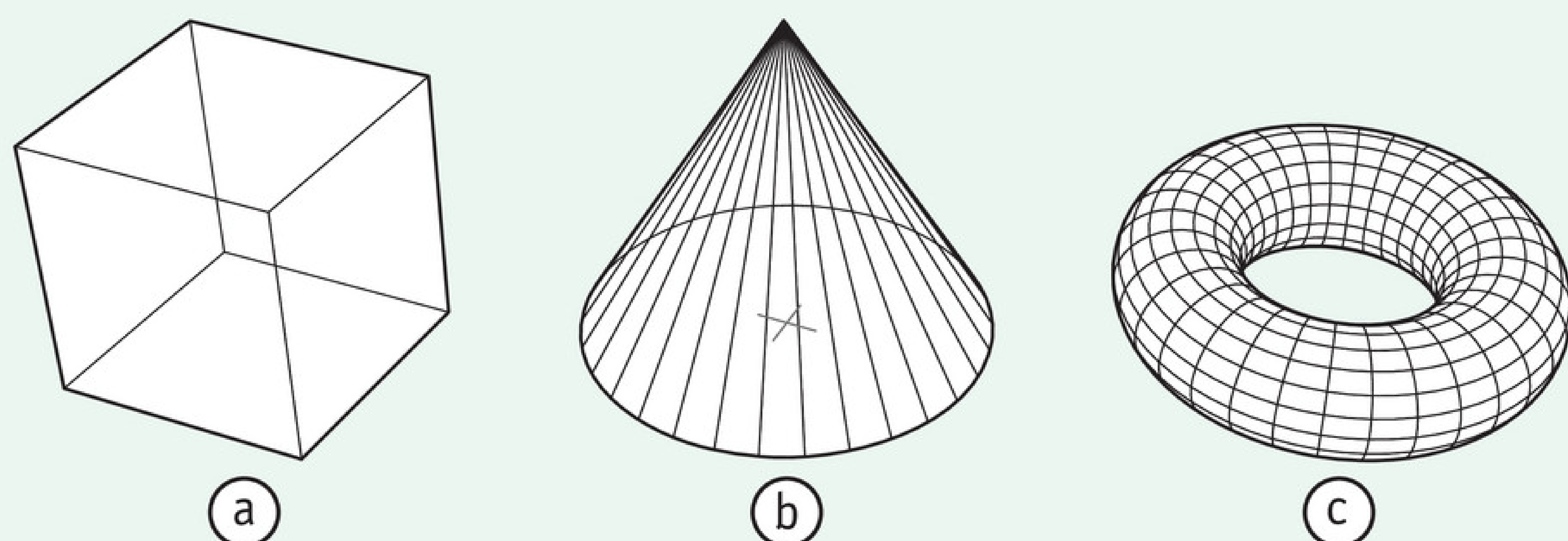
figuur 13 Een doos op een tafel.

PLUS HET ZWAARTEPUNT BEPALEN

10

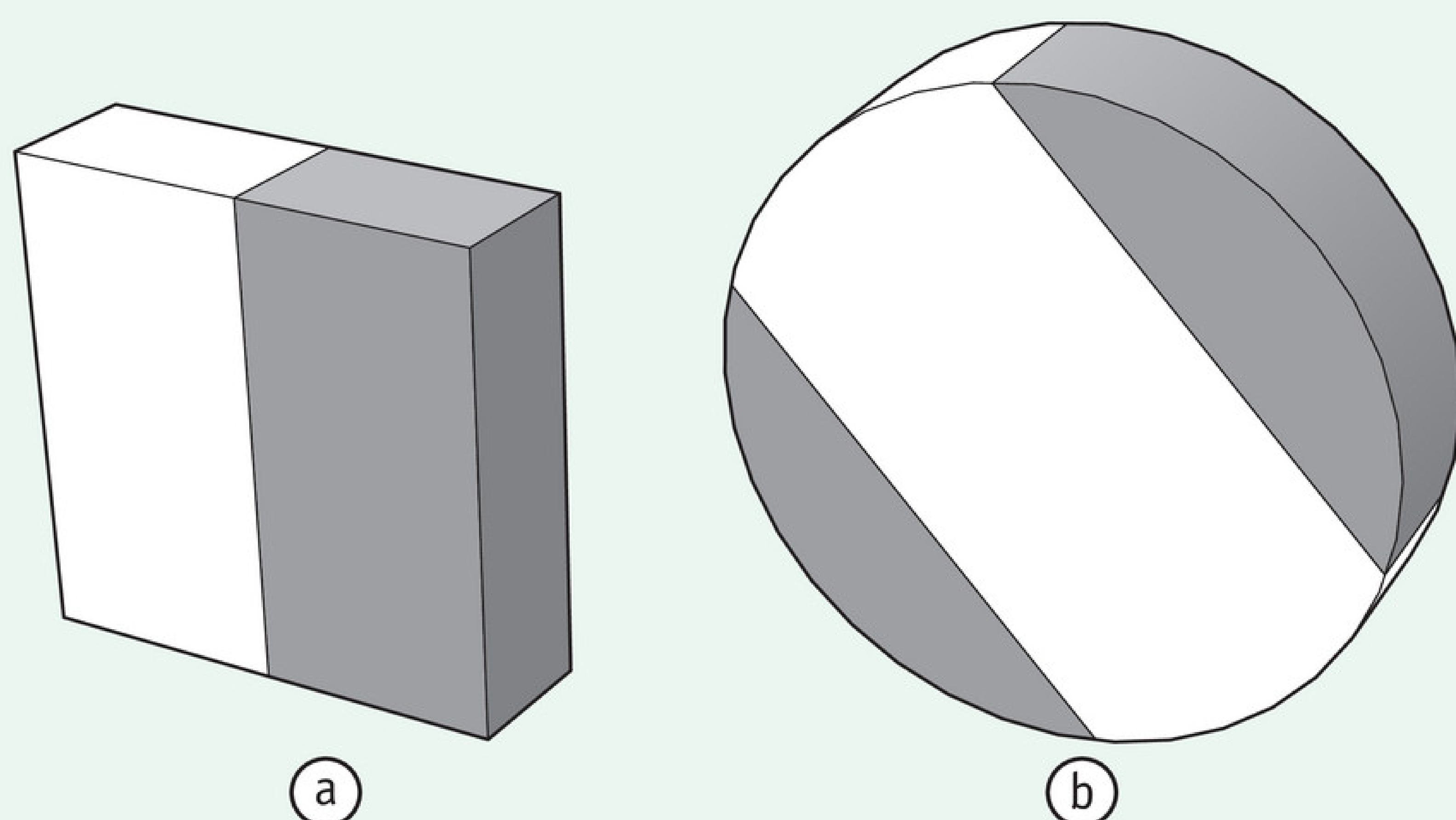
a In figuur 14 zie je drie voorwerpen die van hetzelfde materiaal zijn gemaakt.
Geef bij elk voorwerp met een Z aan waar ongeveer het zwaartepunt ligt.

figuur 14 Het zwaartepunt van drie voorwerpen.



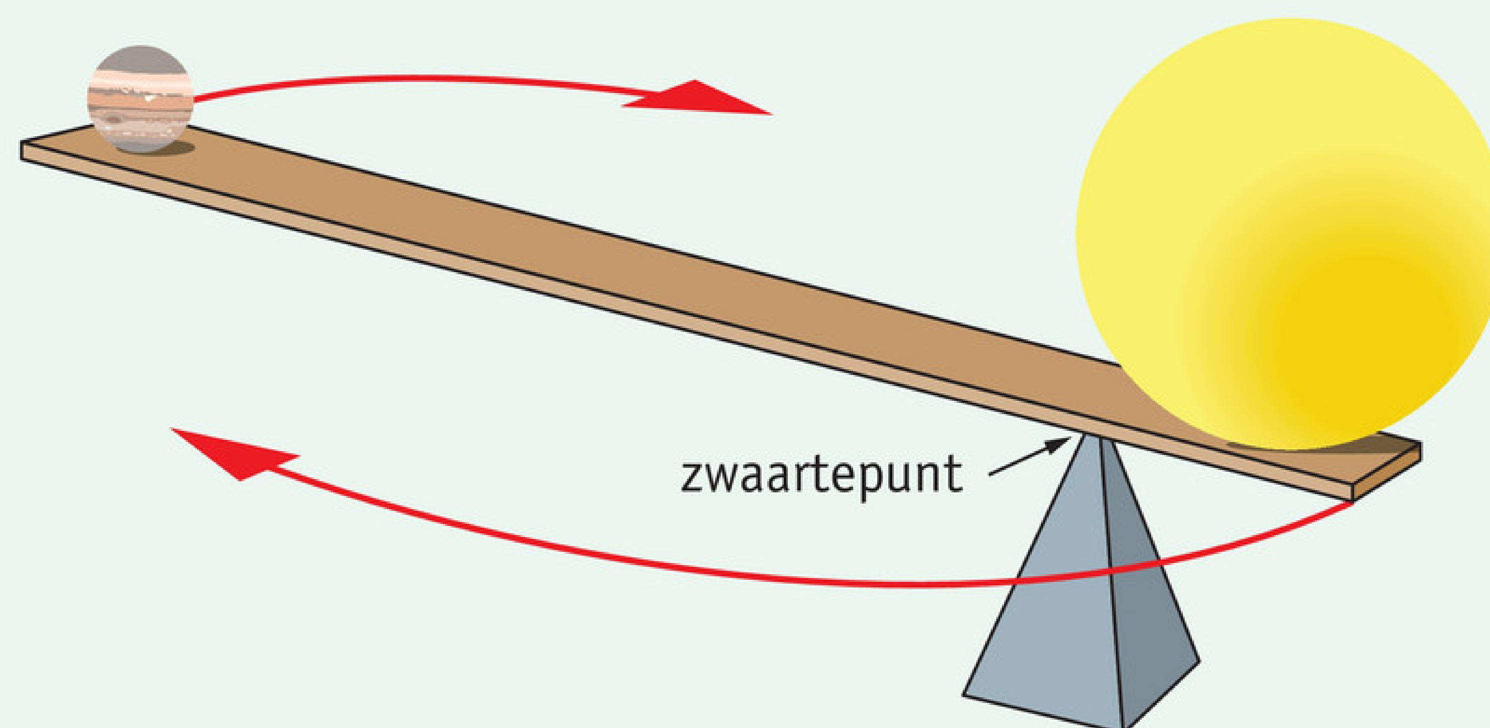
b De voorwerpen in figuur 15 zijn deels van ijzer (donkere gedeelte) gemaakt en deels van aluminium (lichte gedeelte).
Geef bij elk voorwerp het zwaartepunt aan.

figuur 15 Twee voorwerpen gemaakt van ijzer en aluminium.



11

Lisa zoekt op internet informatie over verre planetenstelsels. In het eenvoudigste model van zo'n stelsel draait een enkele planeet om een stilstaande ster. In werkelijkheid draaien beide hemellichamen echter rond een gemeenschappelijk zwaartepunt. In figuur 16 zie je hiervan een vereenvoudigde weergave.



figuur 16 Een planeet en een ster draaien om een gemeenschappelijk zwaartepunt.

a Leg met behulp van figuur 16 uit waarom het gemeenschappelijk zwaartepunt dichter bij de ster dan bij de planeet ligt.

b Planeten buiten ons zonnestelsel zijn met een telescoop niet te zien, de sterren waar ze omheen draaien vaak wel.
Leg met behulp van figuur 16 uit hoe sterrenkundigen kunnen ontdekken dat er een planeet rond een ster draait.

c Stel dat je de planeet in figuur 16 zou vervangen door een tweede ster met precies dezelfde massa als de ster uit de figuur.
Beschrijf de beweging die de twee sterren dan zullen maken.

2 Meer dan één kracht

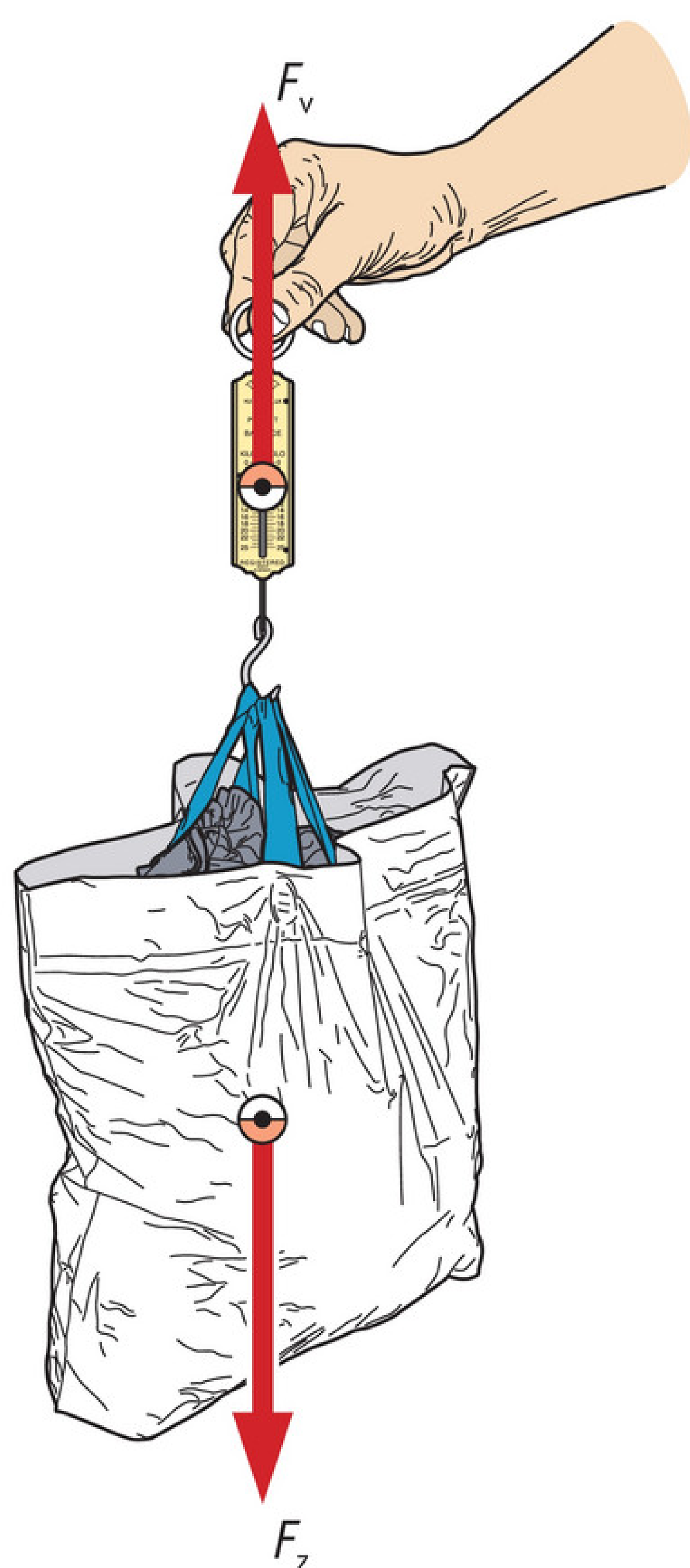
LEERDOELEN

2.2.1 Je kunt twee situaties beschrijven waarin een kracht evenwicht met de zwaartekracht maakt.
2.2.2 Je kunt beredeneren hoe groot een kracht moet zijn om evenwicht te maken.
2.2.3 Je kunt de uitrekking meten van een veer waarop een kracht wordt uitgeoefend.
2.2.4 Je kunt op basis van meetgegevens de veerconstante van een veer bepalen.
2.2.5 Je kunt de resultante berekenen als twee of meer krachten langs dezelfde lijn liggen.
2.2.6 Je kunt met de parallellogrammethode de resultante bepalen als krachten een hoek maken.
PLUS 2.2.7 Je kunt de grootte van de resultante berekenen als de krachten loodrecht op elkaar staan.

Bij een wedstrijd armpjedrukken kunnen de twee tegenstanders elkaar lang in evenwicht houden. Ook al drukken ze zo hard ze kunnen, hun handen komen niet in beweging. Zolang de kracht naar links even groot is als de kracht naar rechts, verandert er niets.

TWEE KRACHTEN IN EVENWICHT

In figuur 1 zie je een zak aardappels die aan een krachtmeter hangt. Op de zak werken twee krachten: de zwaartekracht F_z en de veerkracht F_v. De zwaartekracht werkt naar beneden, de veerkracht werkt omhoog.

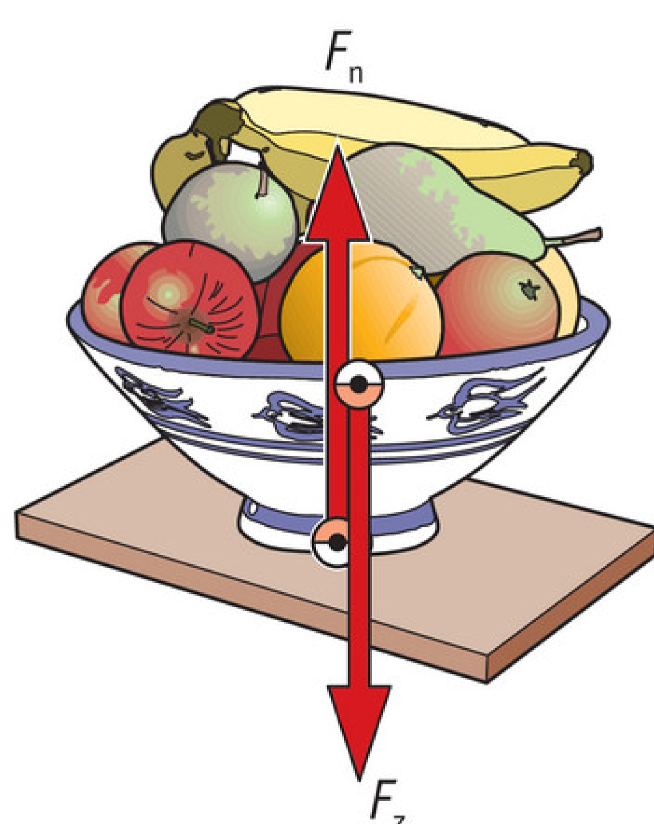


figuur 1 Zwaartekracht en veerkracht.

In deze situatie houden de krachten elkaar in evenwicht. Ze trekken even hard aan de zak, maar in tegenovergestelde richtingen. Daardoor gebeurt er niets: de zak beweegt niet omhoog en ook niet omlaag. De veerkracht en de zwaartekracht heffen elkaar op.

Als je een voorwerp aan een veer hangt, is er niet meteen evenwicht. Dat zie je ook: het voorwerp beweegt naar beneden en de veer rekt steeds verder uit. Ondertussen wordt de veerkracht steeds groter. Dat gaat door tot de veerkracht even groot is als de zwaartekracht. Op dat moment is er evenwicht.

In figuur 2 zie je nog een voorbeeld van twee krachten die evenwicht maken. Als het tafelblad er niet was, zou de fruitschaal naar beneden vallen. Dat gebeurt niet, omdat de fruitschaal het tafelblad een heel klein eindje induwt. Het tafelblad oefent daardoor een kracht omhoog uit op de fruitschaal, loodrecht op het tafelblad: de **normaalkracht** F_n. De normaalkracht maakt evenwicht met de zwaartekracht, zodat de fruitschaal op zijn plaats blijft staan.

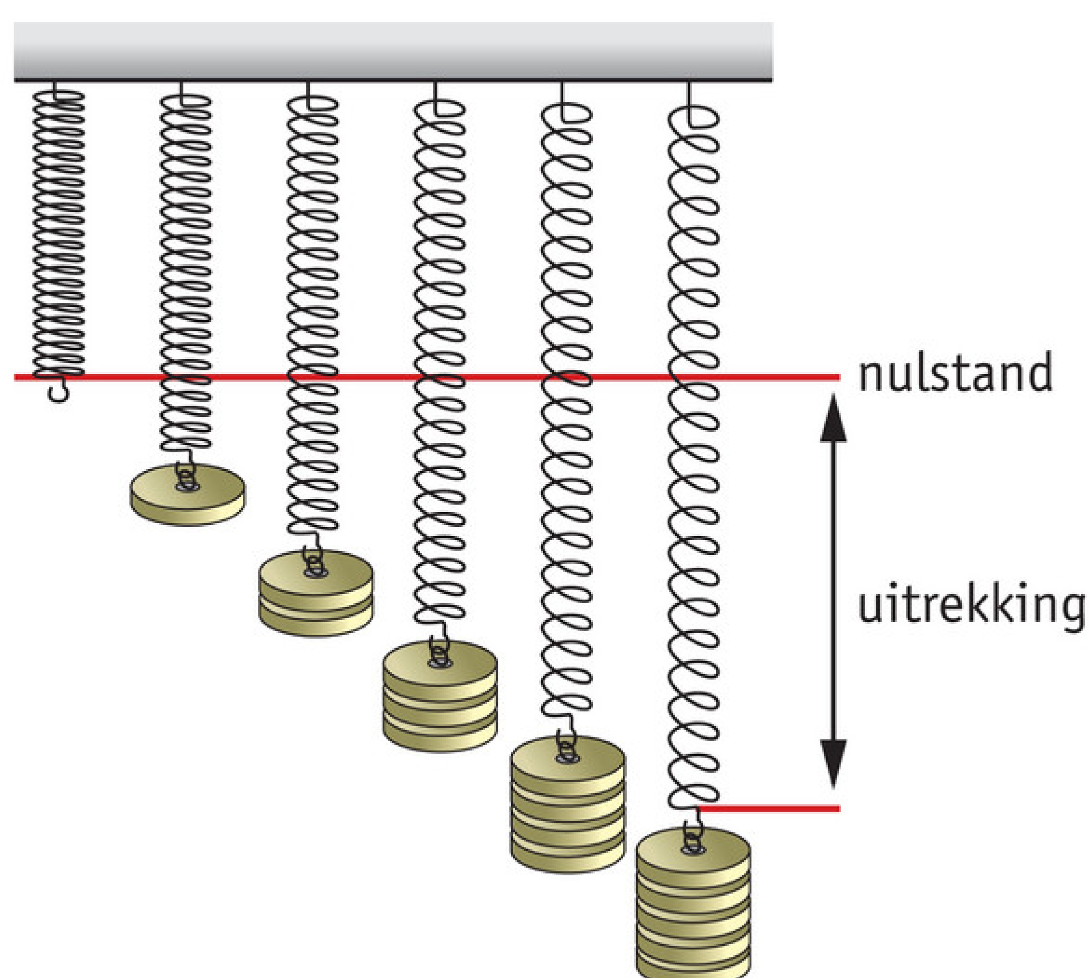


figuur 2 Zwaartekracht en normaalkracht.

KRACHT EN UITREKKING

PROEF 1+2

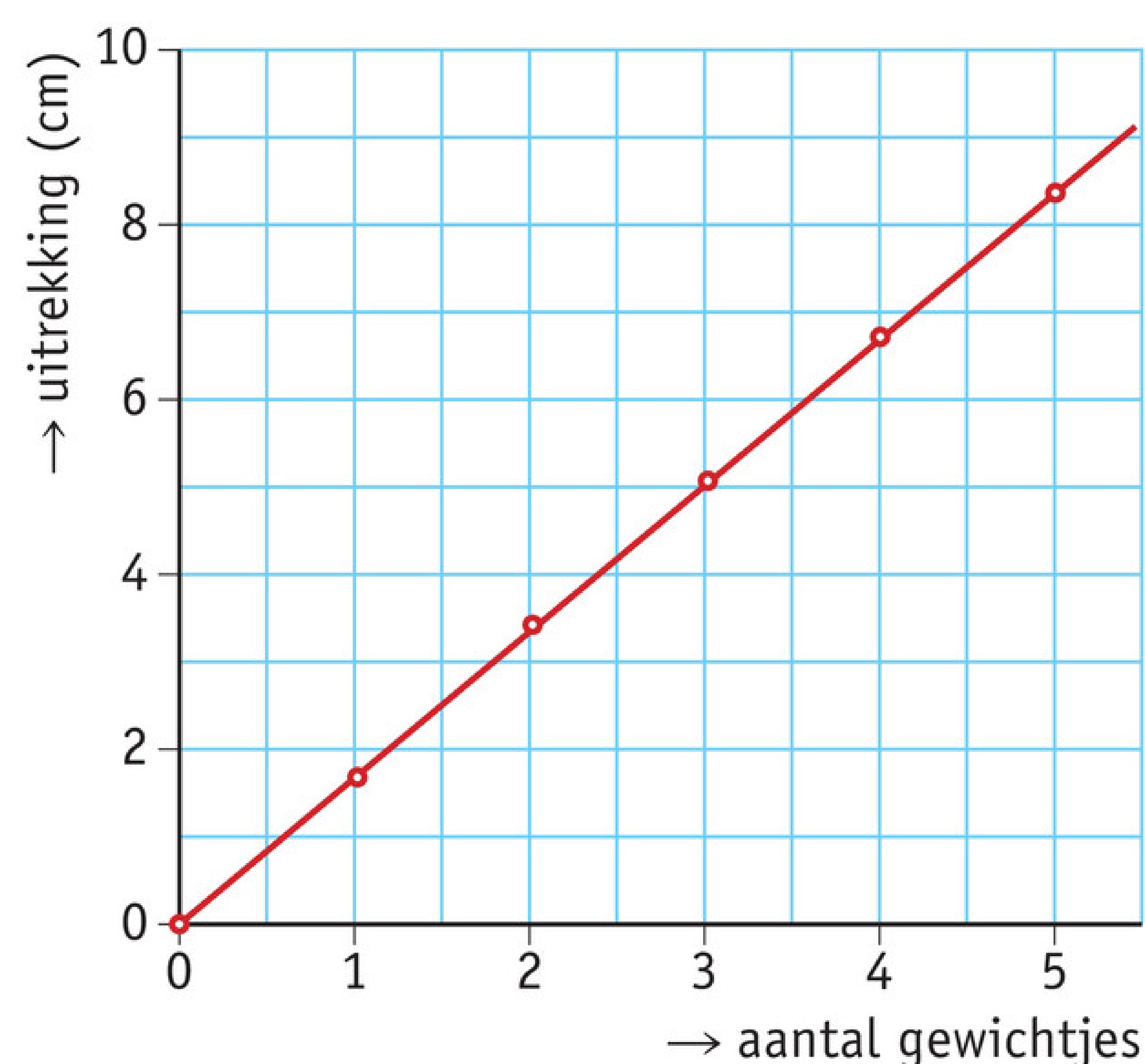
In figuur 3 is getekend hoe je het verband kunt bepalen tussen de kracht op een veer en de **uitrekking**. Je hangt elke keer een nieuw gewichtje aan de veer en bepaalt daarna de uitrekking. De uitrekking is het aantal centimeter dat de veer uitrekt, ten opzichte van de **nulstand**. Zoals je in figuur 3 kunt zien, is de nulstand de lengte bij het begin van de proef, als er nog geen gewichtjes aan de veer hangen.



figuur 3 Proef met een spiraalveer.

Je kunt met deze proef aantonen dat de uitrekking **recht evenredig** is met de kracht:
- Als de kracht 2× zo groot wordt, wordt de uitrekking ook 2× zo groot.
- Als de kracht 3× zo groot wordt, wordt de uitrekking ook 3× zo groot.
- Enzovoort.

Als je de meetresultaten verwerkt tot een grafiek, is het resultaat een rechte lijn door de oorsprong (figuur 4).



figuur 4 De grafiek van de proef met de spiraalveer.

Omdat de uitrekking van een veer recht evenredig is met de kracht, krijg je steeds hetzelfde getal als je de kracht deelt door de bijbehorende uitrekking. Dit constante getal *C* wordt de **veerconstante** genoemd. In symbolen:

$$C = \frac{F}{u}$$

Hierin is:

- *C* de veerconstante in newton per centimeter (N/cm);
- *F* de kracht die aan de veer trekt in newton (N);
- *u* de uitrekking van de veer in centimeter (cm).

De veerconstante geeft aan hoe ver een veer uitrekt als er een kracht op wordt uitgeoefend. Een veer met C = 200 N/cm is bijvoorbeeld veel stugger dan een veer met C = 2 N/cm.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Een veer is 23,2 cm lang als er niets aan hangt, en 31,8 cm als er een gewichtje van 250 g aan hangt.
Bereken met deze gegevens de veerconstante van de veer.

gegevens u = 31,8 − 23,2 = 8,6 cm
m = 250 g = 0,25 kg

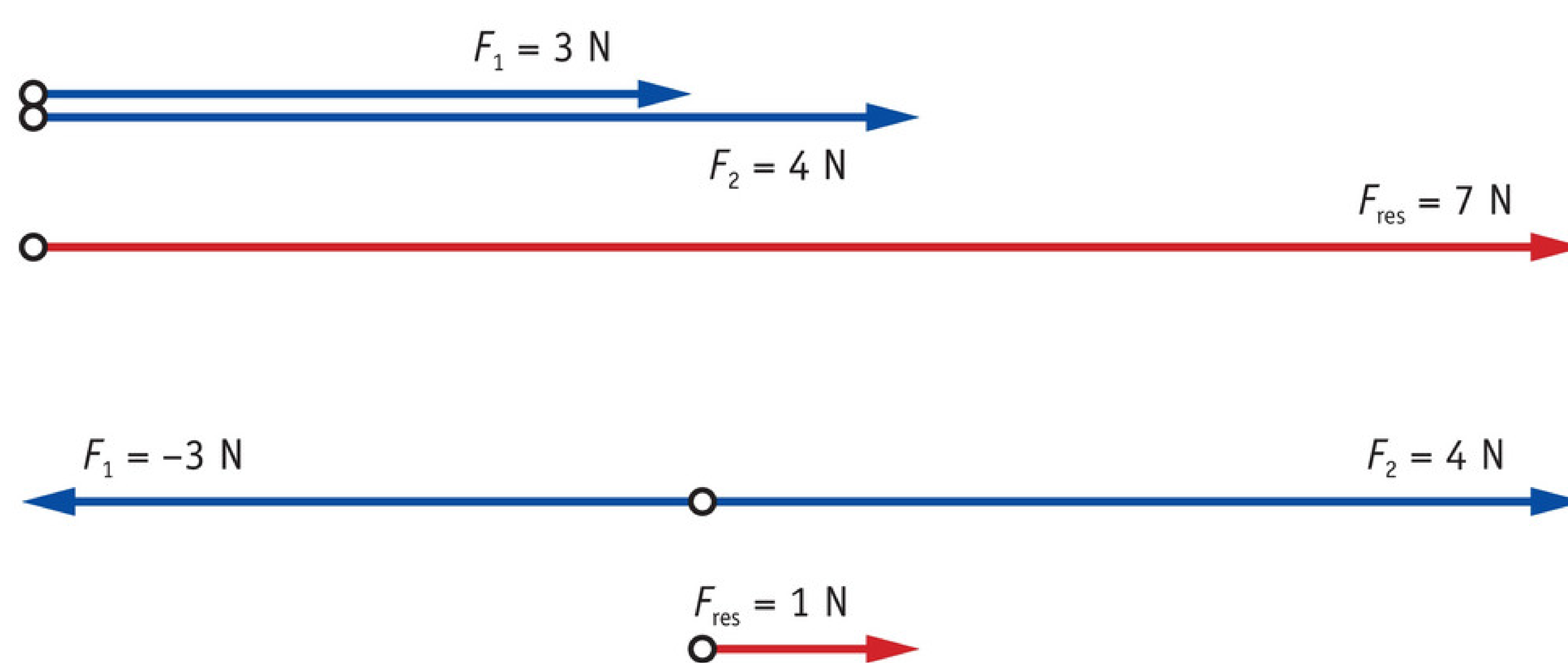
gevraagd C = ?

uitwerking $F_z = m \cdot g = 0{,}25 \times 9{,}8 = 2{,}45$ N
$C = \frac{F}{u} = \frac{2{,}45}{8{,}6} = 0{,}28$ N/cm
Er is dus een kracht van 0,28 N voor nodig om de veer 1,0 cm uit te rekken.

DE RESULTANTE BEPALEN

Als krachten evenwicht maken, heffen ze elkaar op: het lijkt wel alsof er helemaal geen krachten op het voorwerp werken. Je zegt in dat geval dat de **resultante** F_{res} op het voorwerp 0 N is. De resultante is de optelsom van alle krachten samen. De resultante wordt ook wel 'resulterende kracht', de 'nettokracht' of de 'somkracht' genoemd.

Als krachten langs dezelfde lijn liggen, kun je de resultante berekenen door de krachten bij elkaar op te tellen. Je moet daarbij rekening houden met de richting die de krachten hebben. Daarom tel je krachten in de ene richting mee als positieve getallen en krachten in de tegenovergestelde richting als negatieve getallen (figuur 5). Welke richting je daarbij als positief neemt, mag je zelf weten.



figuur 5 Krachten optellen.

VOORBEELDOPDRACHT 2

Joey doet een wedstrijdje armpjedrukken tegen zijn vader (figuur 6). Om het eerlijker te maken helpt zijn zus ook mee. Vader duwt met een kracht van 189 N naar rechts. Joey duwt met een kracht van 93 N naar links, zijn zus met 98 N.
Bereken welke partij aan de winnende hand is.

gegevens F_1 = 189 N; F_2 = −93 N; F_3 = −98 N

gevraagd F_{res} = ?

uitwerking $F_{res} = F_1 + F_2 + F_3$
$= 189 - 93 - 98 = -2$ N

De resultante is 2 N in het voordeel van Joey en zijn zus.



figuur 6 Een wedstrijd armpjedrukken.

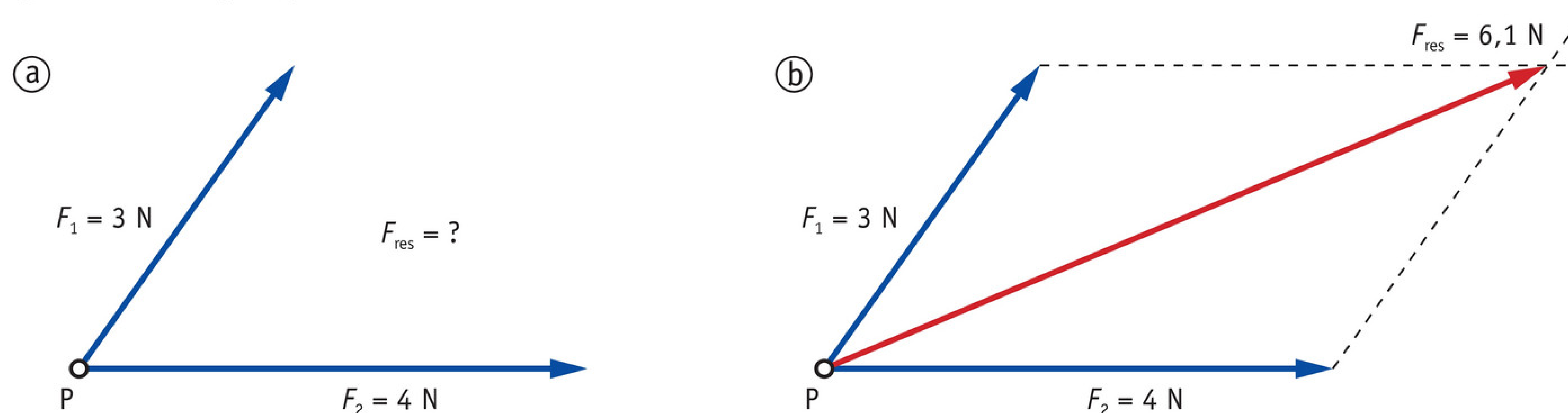
KRACHTEN SAMENSTELLEN

In figuur 7a zie je twee krachten die in verschillende richtingen werken. In zo'n geval is er geen eenvoudige manier om de resultante te berekenen. Dat komt doordat krachten vectoren zijn. Niet alleen hun grootte is belangrijk, ook hun richting. Je kunt ze daarom niet zomaar bij elkaar optellen.

Om in deze situatie de resultante te vinden, gebruik je de **parallellogrammethode**. Die werkt als volgt:

1. Kies een geschikte krachtenschaal waarbij de pijlen niet te lang of te kort worden.
2. Teken de twee krachten op de juiste schaal en onder de juiste hoek.
3. Maak het parallellogram af met twee stippellijnen zoals in figuur 7b.
4. Teken de resultante als een pijl van beginpunt P naar het tegenoverliggende hoekpunt.
5. Meet de lengte van deze pijl. Bereken met de krachtenschaal de grootte van de resultante.
6. Bepaal de richting van de resultante door in figuur 7b de hoek op te meten.

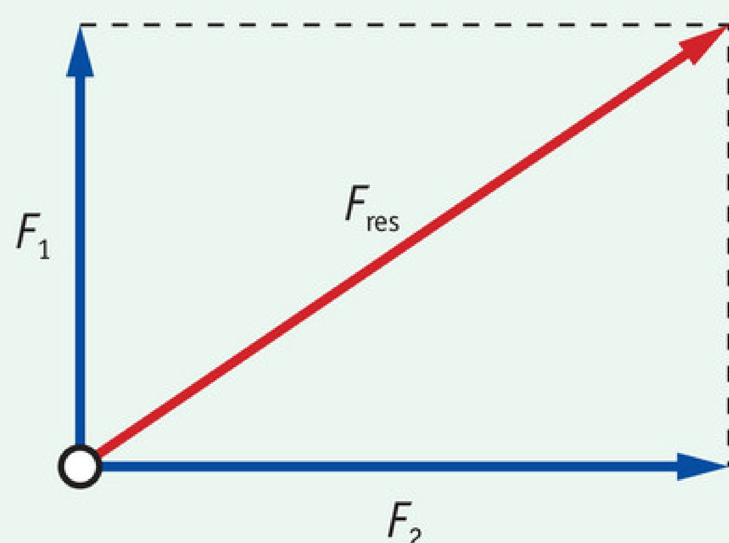
figuur 7 Zo bepaal je de resultante van twee krachten.



PLUS KRACHTEN LOODRECHT OP ELKAAR

In figuur 8 zie je de constructie van de resultante als twee krachten loodrecht op elkaar staan. Net als bij de parallellogrammethode kun je nu F_{res} opmeten. Het is echter veel nauwkeuriger om de resultante te berekenen. Dat doe je met de stelling van Pythagoras. Er geldt:

$$F_{res}^2 = F_1^2 + F_2^2$$



figuur 8 Zo bepaal je de resultante van twee krachten loodrecht op elkaar.

VOORBEELDOPDRACHT 3

In figuur 8 geldt $F_1 = 12$ N en $F_2 = 18$ N.
Bereken de resultante.

gegevens $F_1 = 12$ N en $F_2 = 18$ N

gevraagd $F_{res} = ?$

uitwerking

$$F_{res}^2 = F_1^2 + F_2^2$$
$$F_{res}^2 = 12^2 + 18^2 = 144 + 324 = 468$$
$$F_{res} = \sqrt{468} = 22 \text{ N}$$



Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

- **a** Welke drie soorten krachten worden aangeduid met de symbolen F_n, F_v en F_z?
- **b** Welke twee krachten werken op een laptop die op een bureau staat?
- **c** Welke twee meetgegevens heb je nodig om de uitrekking van een veer te kunnen bepalen?
- **d** Met welke formule kun je de veerconstante *C* van een spiraalveer berekenen?

TOEPASSING

2 Een bergbeklimmer neemt tijdens het abseilen even rust (figuur 9).

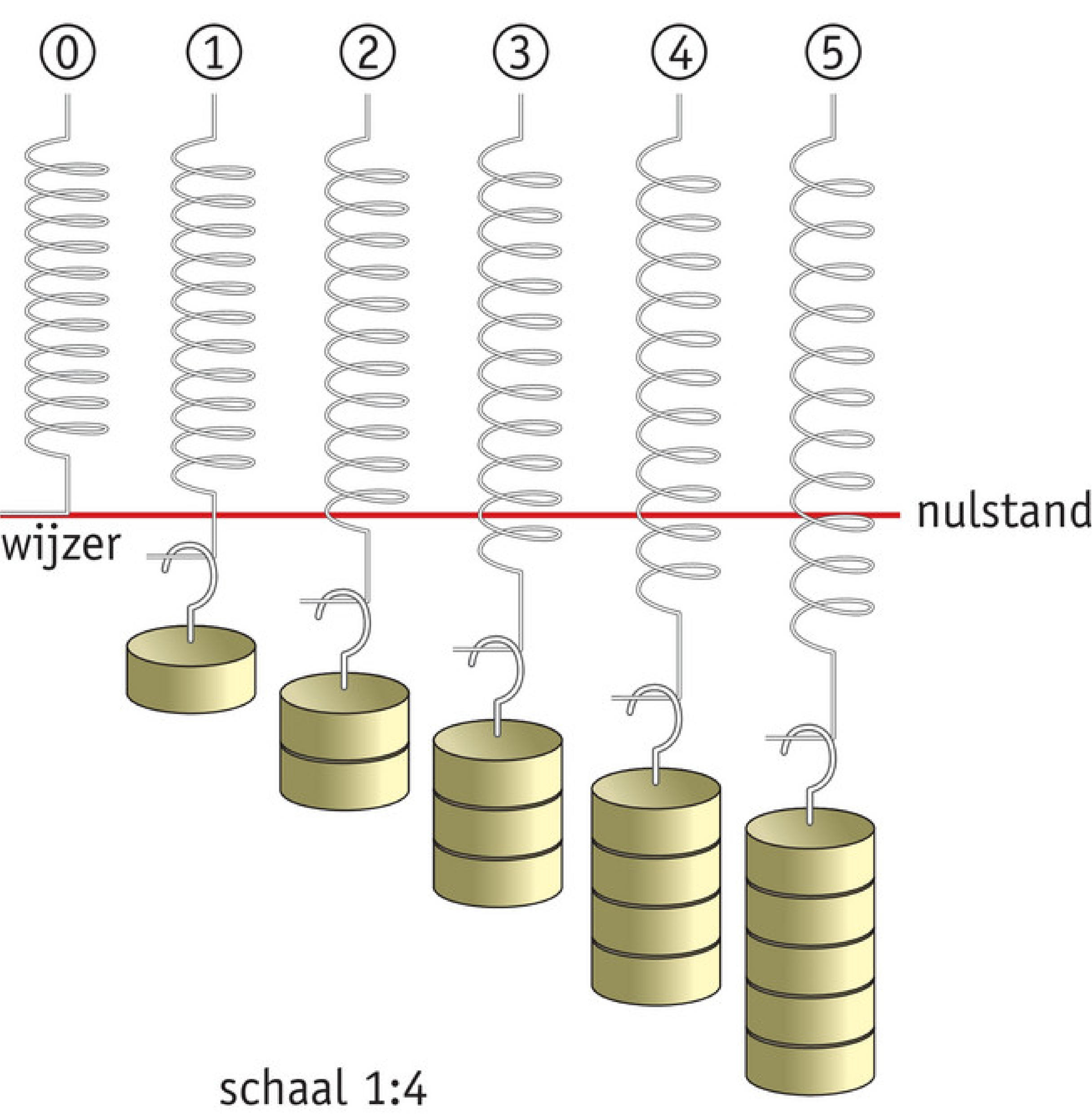
- **a** Welke twee krachten werken op de bergbeklimmer?
- **b** Geef in de figuur aan:
  - waar de twee krachten aangrijpen;
  - in welke richting de krachten werken;
  - langs welke lijn de krachten werken.



figuur 9 Een bergbeklimmer.

3 Willem voert de proef uit die in figuur 10 is getekend.

a In tabel 1 zie je een deel van zijn meetresultaten.
Vul de tabel verder in.



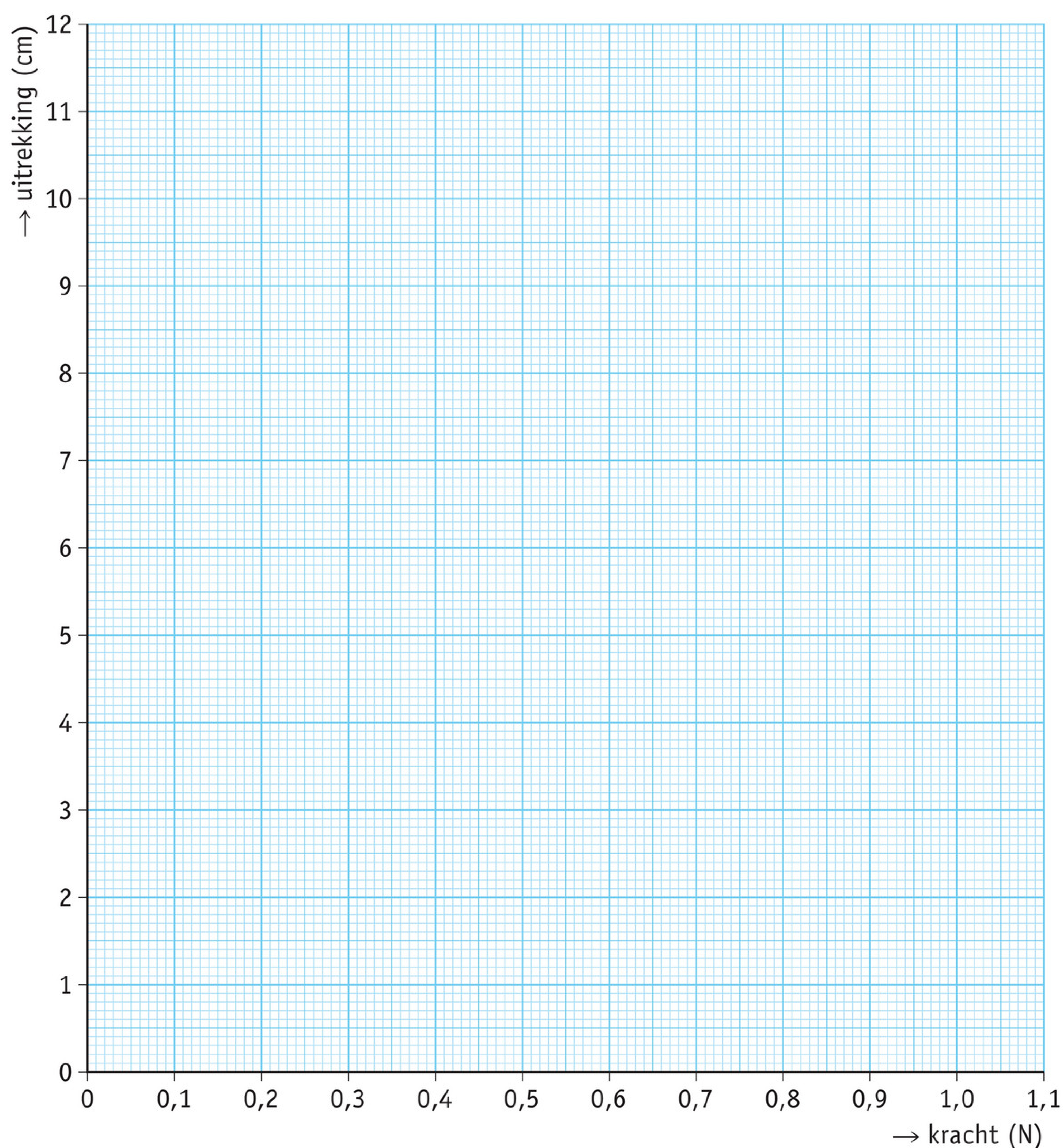
figuur 10 De veer rekt steeds meer uit.

tabel 1 De meetresultaten van Willem.

aantal gewichtjes	kracht op de veer (N)	uitrekking (cm)
0	0	0
1	0,15	1,8
2	0,30	

b Zie de vaardigheid *Werken met tabellen en grafieken*.
Teken in het diagram in figuur 11 de grafiek van deze proef.

c Bepaal met behulp van de grafiek:
- hoe ver de veer wordt uitgerekt door een kracht van 0,5 N;
- hoe ver de veer wordt uitgerekt door een kracht van 0,8 N.



figuur 11 Het verband tussen kracht en uitrekking.

4

In figuur 12 zie je drie even lange krachtmeters: rood (0-2 N), bruin (0-5 N) en groen (0-10 N). De afstand tussen het nulpunt en het eindpunt van de schaal is bij elke krachtmeter 8,4 cm.

a Hoe kun je aan deze gegevens zien in welke krachtmeter de meest stugge veer zit?

b Zie de vaardigheid *Werken met formules*.
Bereken de veerconstante van de veer in de rode krachtmeter.

c Beredeneer zonder een formule te gebruiken hoe groot de veerconstante van de veren in de andere krachtmeters is.



figuur 12 Drie krachtmeters.

★ 5 Ellen doet een proef met een spiraalveer (C = 0,35 N/cm). Eerst meet ze de lengte van de veer als er niets aan hangt: 22 cm. Daarna hangt ze een blokje van 250 g aan de veer. Bereken hoe groot de lengte van de veer nu wordt. Schrijf de hele berekening overzichtelijk op.



Meer oefening nodig met *De veerconstante berekenen*? Ga naar de *Vaardigheidstrainer*.

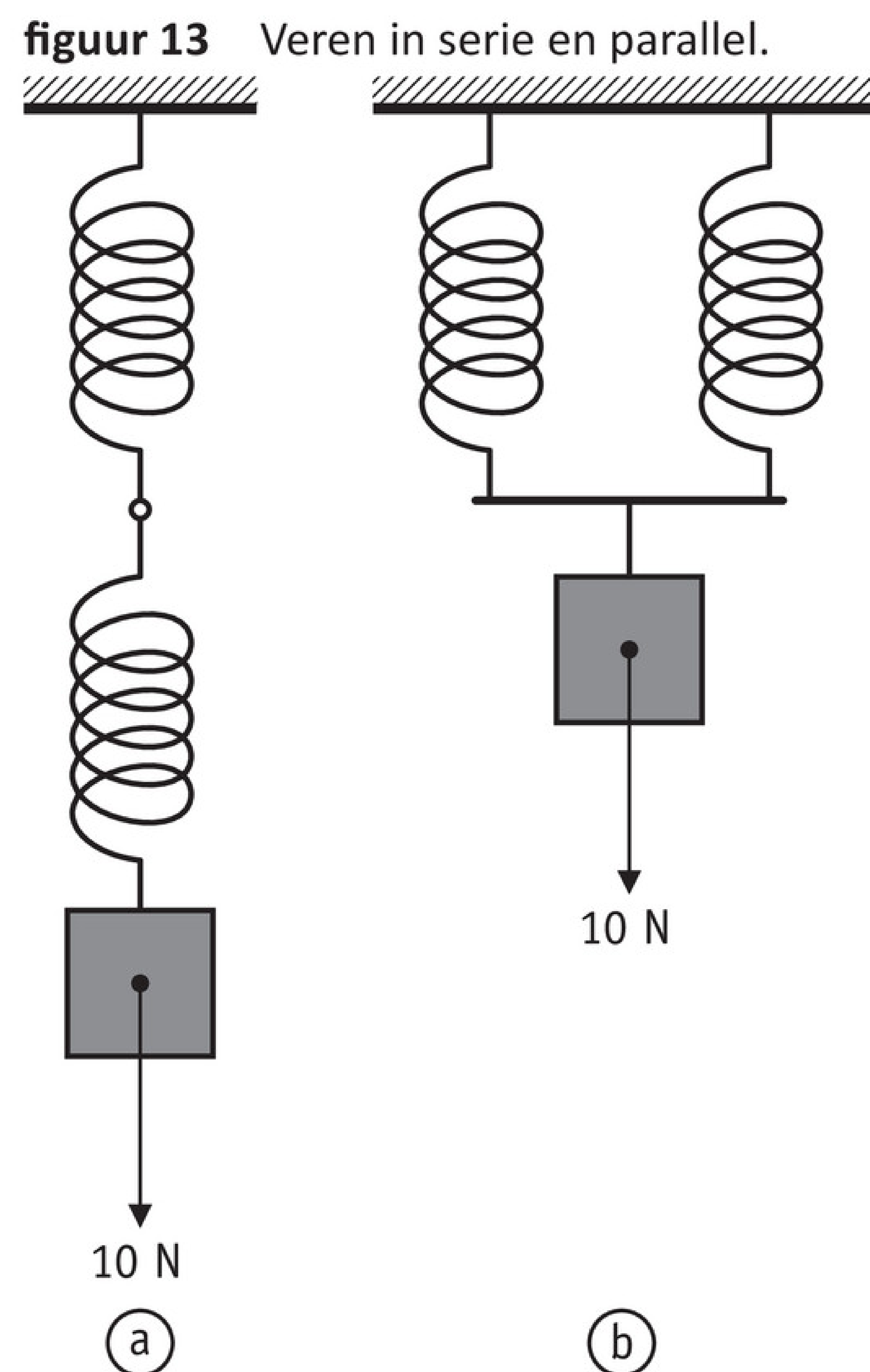
★ 6 Joran hangt twee identieke spiraalveren onder elkaar en hangt er een gewichtje aan van 10 N (figuur 13a). De massa van de veren mag je verwaarlozen.

a Geef van elke veer aan hoe groot de kracht is die op de veer werkt.

b De veerconstante van elke veer is 6,0 N/cm. Hoe groot is de veerconstante van deze combinatie van twee veren? Leg uit hoe je aan je antwoord bent gekomen.

c Joran hangt de veren nu parallel (figuur 13b). Hoe groot is nu de veerconstante van de combinatie? Leg uit hoe je aan je antwoord bent gekomen.

figuur 13 Veren in serie en parallel.

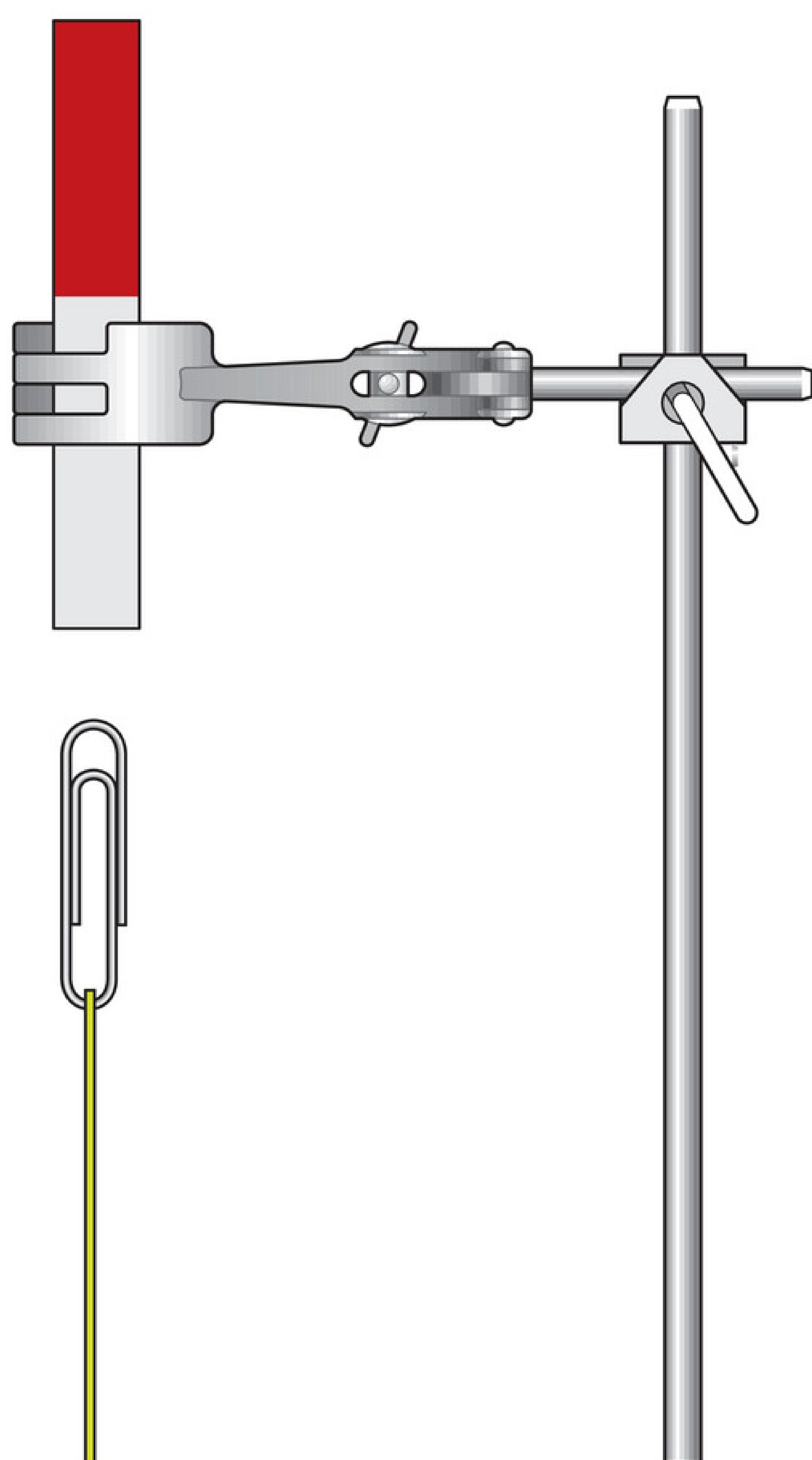


7 In figuur 14 zie je hoe je met behulp van een magneet een paperclip aan een touwtje kunt laten zweven.
Op de paperclip werken drie krachten.

a Welke twee krachten zijn naar beneden gericht?

b Welke kracht op de paperclip is omhooggericht?

c Welke van de drie krachten is het grootst? Hoe kun je dat beredeneren?



figuur 14 De zwevende paperclip.

8 In figuur 15 zie je vijf tekeningen (a tot en met e) waarin twee krachten F_1 en F_2 in hetzelfde punt aangrijpen.

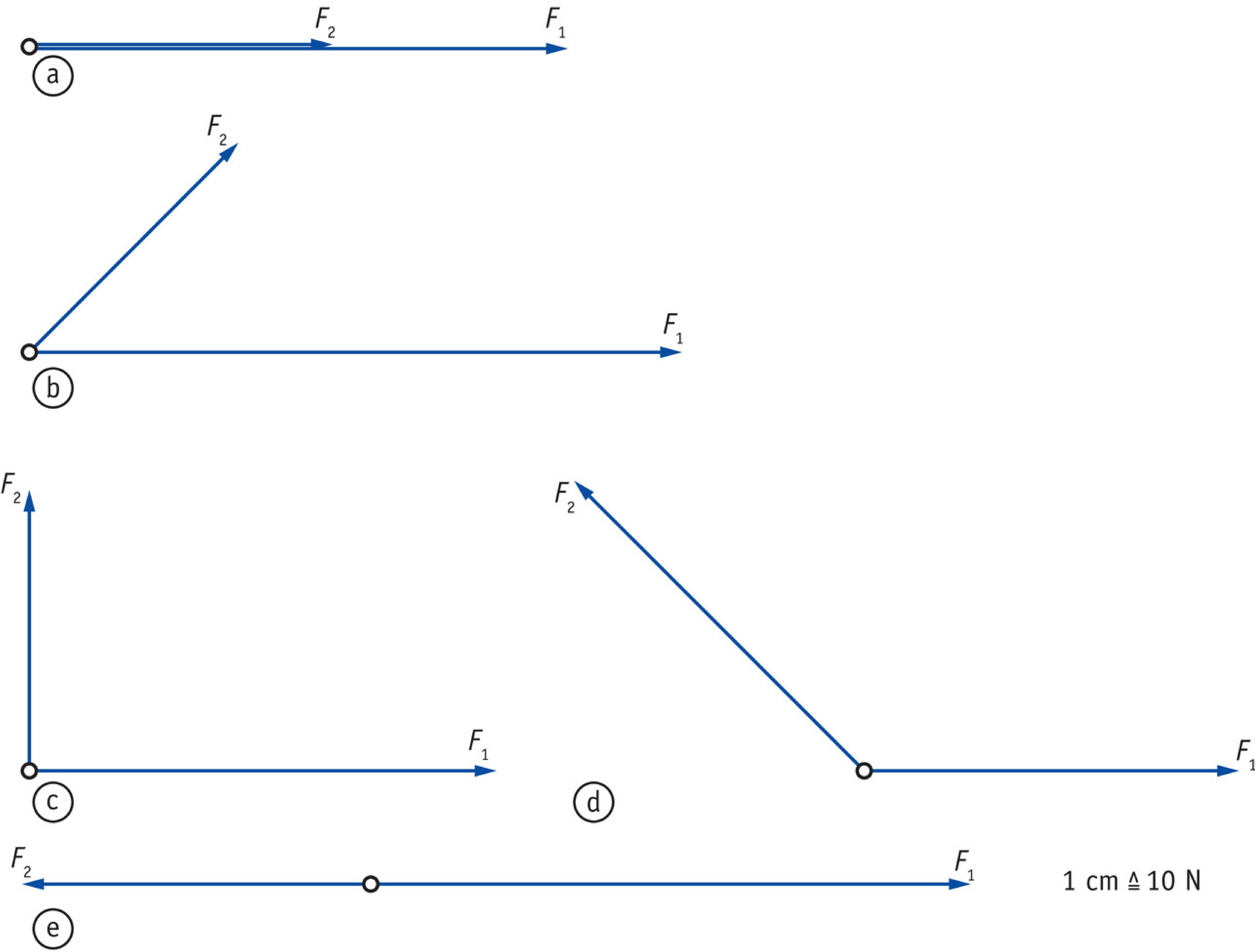
a Teken in elk van de vijf tekeningen de resultante van F_1 en F_2.

b Vul tabel 2 verder in.

tabel 2 Hoe groot is de resultante?

tekening	lengte resultante (cm)	grootte resultante (N)
a		
b		
c		
d		
e		

figuur 15 Vijf keer twee krachten.

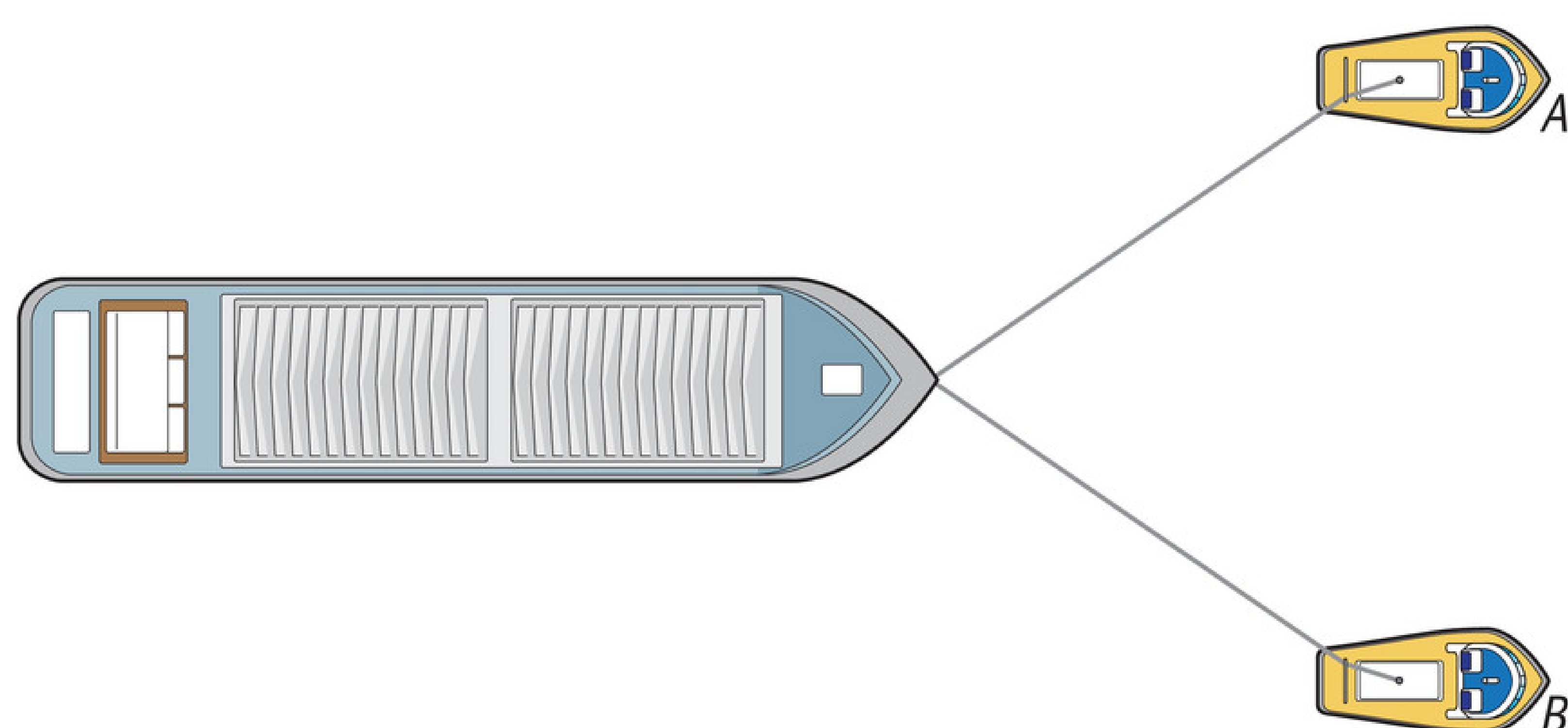


9 In figuur 16 is getekend hoe de sleepboten A en B een vrachtboot vooruit trekken. Elke sleepboot oefent op de vrachtboot een kracht uit van 600 kN.

a Teken deze krachten in figuur 16. Bereken de krachtenschaal aan de hand van de figuur.

b Teken de resultante van deze twee krachten.

c Bepaal de grootte van de resultante.



figuur 16 De resultante bepalen.

PLUS KRACHTEN LOODRECHT OP ELKAAR

10 Twee krachten F_1 = 3 N en F_2 = 4 N werken op hetzelfde voorwerp. F_1 werkt naar links en F_2 werkt omlaag.

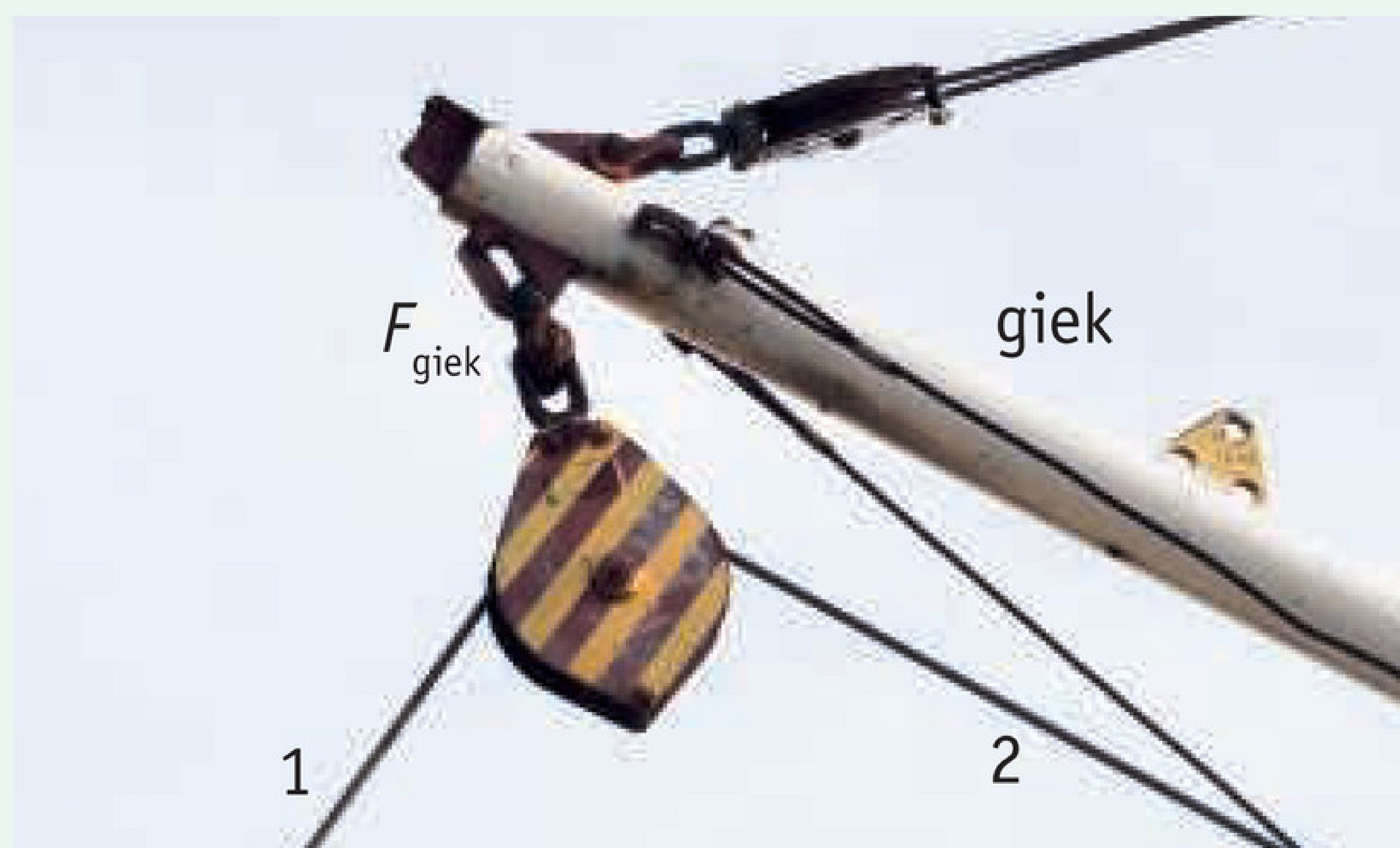
a Teken deze krachten en de resultante. Gebruik een schaal van 1 cm ≙ 1 N.



b Bepaal de resultante in de tekening.

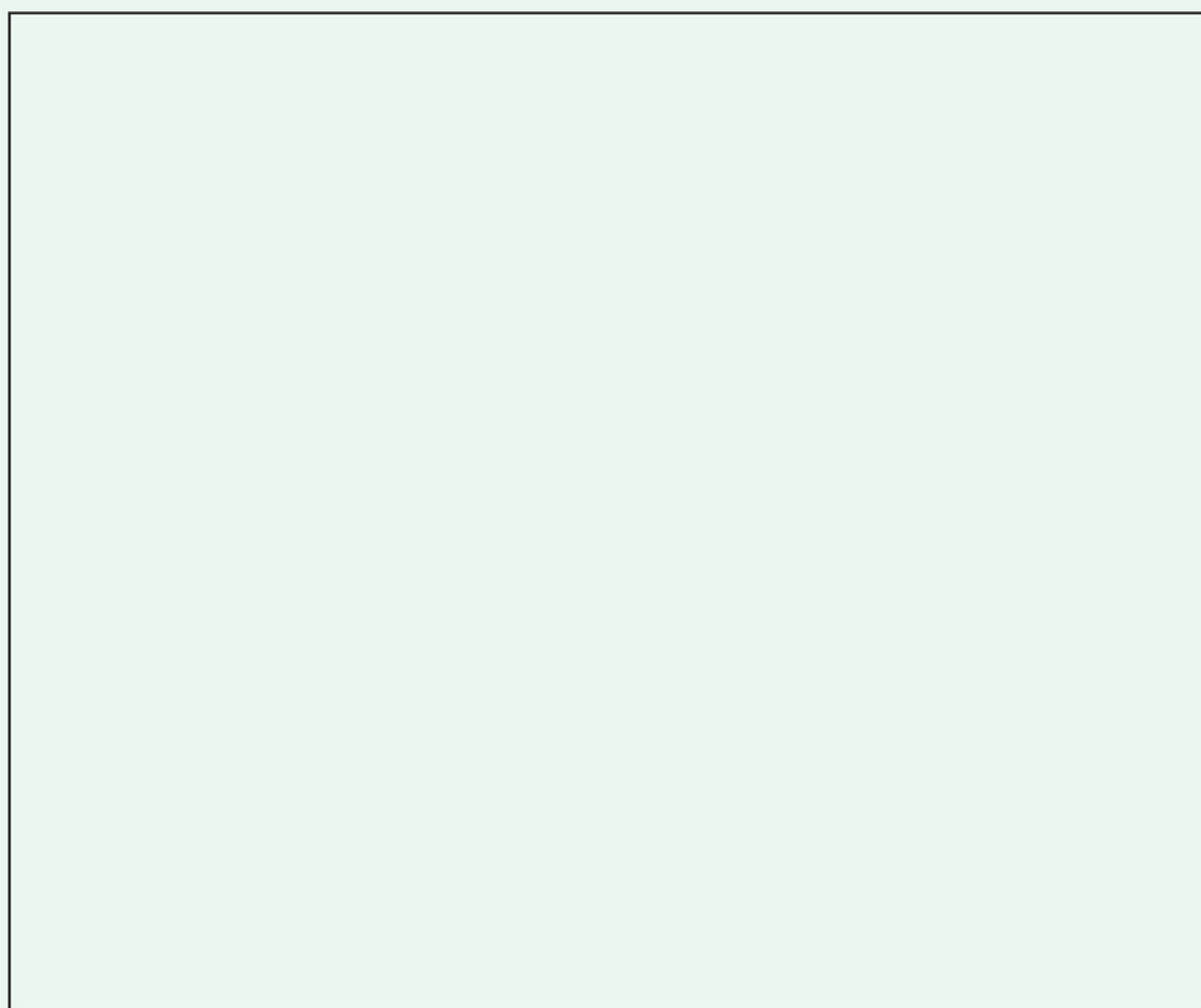
c Bereken de resultante.

11 Een stalen kabel loopt over een bruin-gele katrol (figuur 17). Ga ervan uit dat de kabels onderling een hoek maken van precies 90°. De spankracht in elke kabel is 50 kN.



figuur 17 Een bruin-geel gestreepte katrol aan de giek van een hijskraan.

a Teken de spankrachten F_1 en F_2 en de resultante. Gebruik daarvoor de schaal 1 cm ≙ 10 kN. De lengte van de resultante is .... cm.



b Bereken de grootte van de resultante F_{res}.

c Hoe groot is de kracht F_{giek} waarmee de giek aan de katrol trekt?

12 Sami laat zijn mopshond en zijn chihuahua uit (figuur 18). De mopshond ziet een vriendje in het noorden en trekt met 28 N aan de lijn. Tegelijkertijd ziet de chihuahua iets interessants in de bosjes in het oosten. Hierdoor wordt Sami schuin naar voren getrokken. Van beide honden samen ondervindt hij een kracht van 30 N.

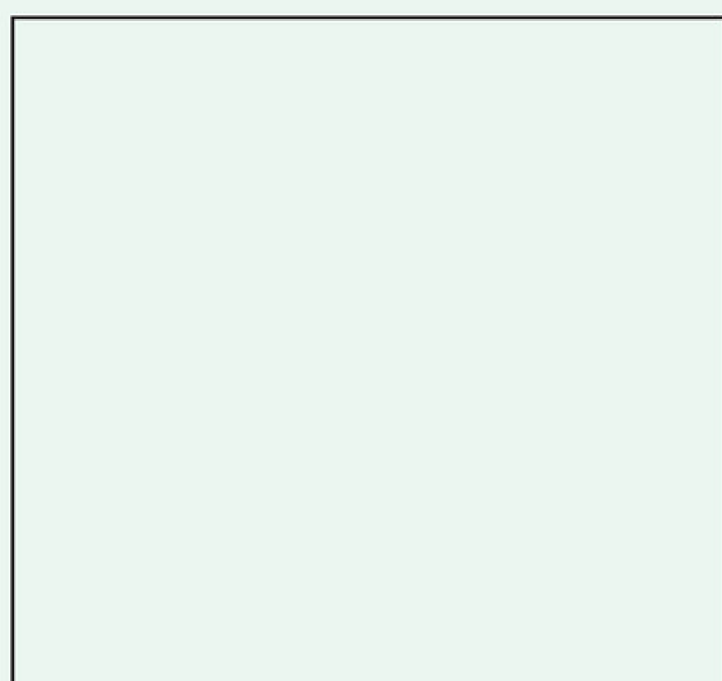






figuur 18 Sami laat zijn chihuahua en mopshond uit.

a Teken de krachten die op Sami werken: F_m van de mopshond, F_c van de chihuahua en de resultante F_{res}.



b Bereken de kracht die de chihuahua op de lijn uitoefent.

3 Voortstuwen en tegenwerken

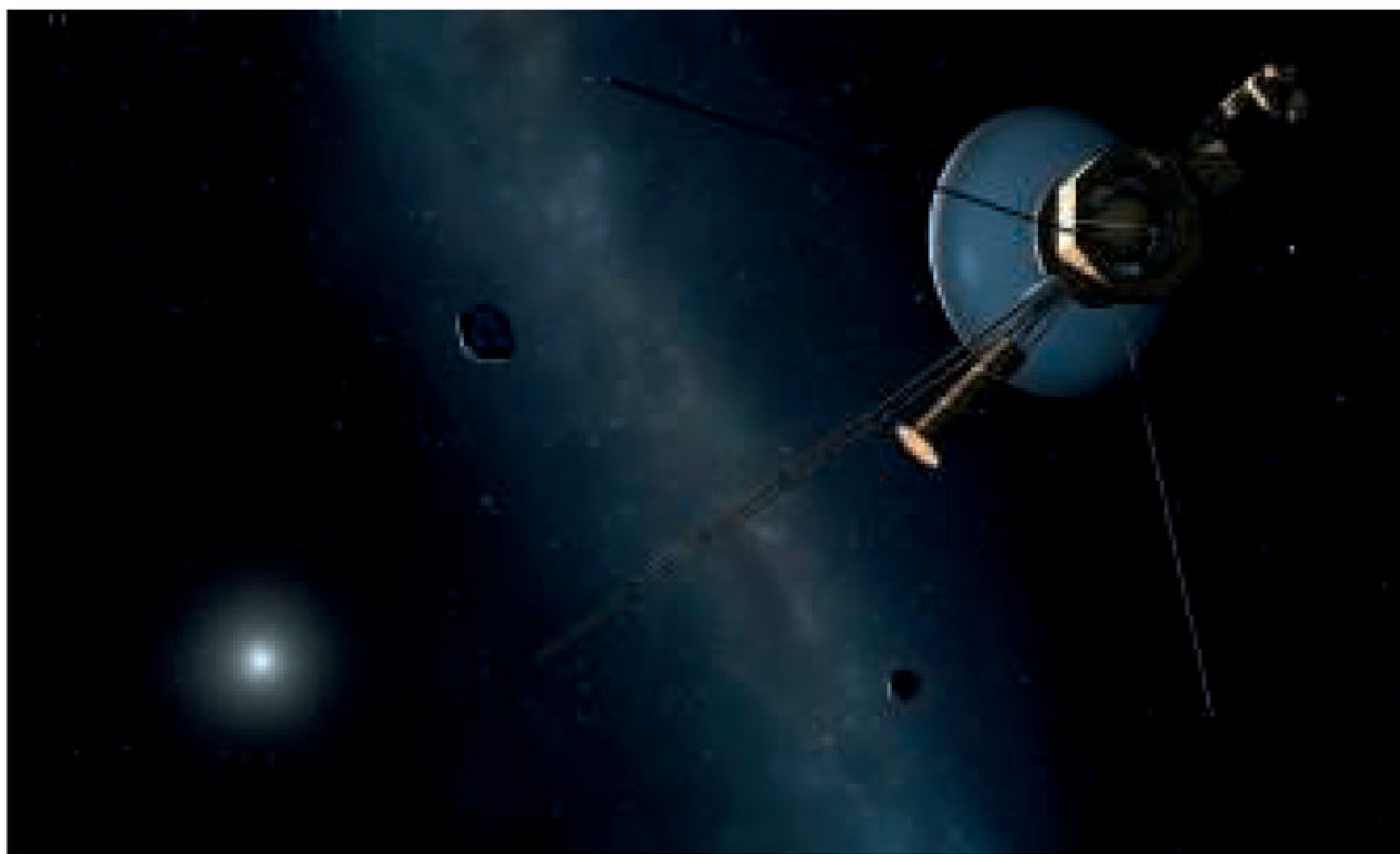
LEERDOELEN

2.3.1 Je kunt uitleggen op welke manier bewegingen in het heelal verschillen van bewegingen op aarde.
2.3.2 Je kunt van drie weerstandskrachten aangeven hoe ze ontstaan en hoe je ze kunt verminderen.
2.3.3 Je kunt uitleggen wat de eerste wet van Newton inhoudt en hoe je deze wet kunt beredeneren.
2.3.4 Je kunt beschrijven hoe een voorwerp beweegt als de resultante gelijk is aan 0 N.
2.3.5 Je kunt beschrijven hoe een voorwerp beweegt als de resultante niet gelijk is aan 0 N (vier mogelijkheden).
PLUS 2.3.6 Je kunt de luchtweerstandskracht op een bewegend voorwerp berekenen.

De raketten waarmee ruimtevaartuigen worden gelanceerd verbruiken honderden tonnen brandstof. Ze ontwikkelen daarbij een enorme stuwkracht. Maar na enkele minuten is de brandstof op en valt de voortstuwende kracht weg. Het ruimtevaartuig maakt zich dan los en beweegt vanzelf verder.

EEN REIS ZONDER EINDE

In figuur 1 zie je een afbeelding van de Voyager 2. Dit onbemande ruimtevaartuig is gelanceerd in 1977. In de jaren daarna heeft het alle grote planeten in het zonnestelsel bezocht. Sinds die tijd beweegt het steeds verder bij de zon vandaan. Zijn snelheid is groot genoeg om zich los te maken uit het zonnestelsel. Uiteindelijk zal de Voyager 2 verdwijnen in het heelal, op een reis zonder einde.



figuur 1 De Voyager 2 aan de rand van het zonnestelsel (*artist impression*).

In het vacuüm van de ruimte wordt een ruimtevaartuig niet afgeremd door lucht of een andere stof. Er zijn geen moleculen die het opzij moet duwen om verder te kunnen bewegen. Als het bij de lancering de juiste richting en snelheid heeft gekregen, beweegt het daarna vanzelf verder. De Voyager 2 heeft op die manier miljarden kilometers afgelegd, tot aan de grenzen van het zonnestelsel.

Bij bewegingen op aarde is dat anders. Daar zijn altijd **weerstandskrachten** aanwezig die je beweging tegenwerken. Dat merk je bijvoorbeeld als je aan het fietsen bent. Je moet steeds blijven trappen om een constante snelheid te houden. Als je stopt met trappen, sta je al gauw stil. De weerstandskrachten hebben je fiets dan tot stilstand gebracht.

DRIE WEERSTANDSKRACHTEN

PROEF 3

Er zijn verschillende soorten weerstandskrachten:

- Een voorwerp dat door de lucht beweegt, ondervindt een **luchtweerstandskracht**. Dat komt doordat het voorwerp de lucht voor zich opzij moet duwen. Je kunt de luchtweerstand verminderen door het voorwerp te stroomlijnen.
- Een voorwerp dat over een oppervlak schuift of glijdt, zoals een ski over de sneeuw, ondervindt een **schuifweerstandskracht**. Je kunt de schuifweerstand verminderen door de oppervlakken die langs elkaar bewegen zo glad mogelijk te maken.
- Een voorwerp dat over een oppervlak rolt, zoals een fietswiel over een weg, ondervindt een **rolweerstandskracht**. Dat komt doordat het rollende voorwerp en de ondergrond allebei vervormen. Je kunt de rolweerstand verminderen door de ondergrond te verharden en vlak te maken.

Atleten proberen de weerstandskrachten die hun beweging tegenwerken zoveel mogelijk te verkleinen. Skiërs maken zichzelf tijdens de afdaling van een berg bijvoorbeeld zo klein mogelijk. Ze hoeven zo minder lucht opzij te duwen doordat hun **frontaal oppervlak** – het oppervlak gezien van voren – dan kleiner is.

Wielrenners dragen speciale kleding voor een betere stroomlijn (figuur 2). Ze pompen hun banden keihard op om de rolweerstand te verminderen. Technische verbeteringen aan hun fiets en kleding kunnen de weerstandskrachten behoorlijk verminderen. Maar het is onmogelijk om deze krachten helemaal te laten verdwijnen.



figuur 2 Een wielrenner met stroomlijn.

DE EERSTE WET VAN NEWTON

In de ruimte zijn geen weerstandskrachten. Daar heerst een vacuüm dat bewegende voorwerpen ongehinderd doorlaat. Natuurkundigen vroegen zich lang geleden af hoe een voorwerp in zo'n geval beweegt. Als er helemaal geen krachten op een voorwerp werken, of als die krachten zo klein zijn dat je ze kunt verwaarlozen, hoe ziet zijn beweging er dan uit?

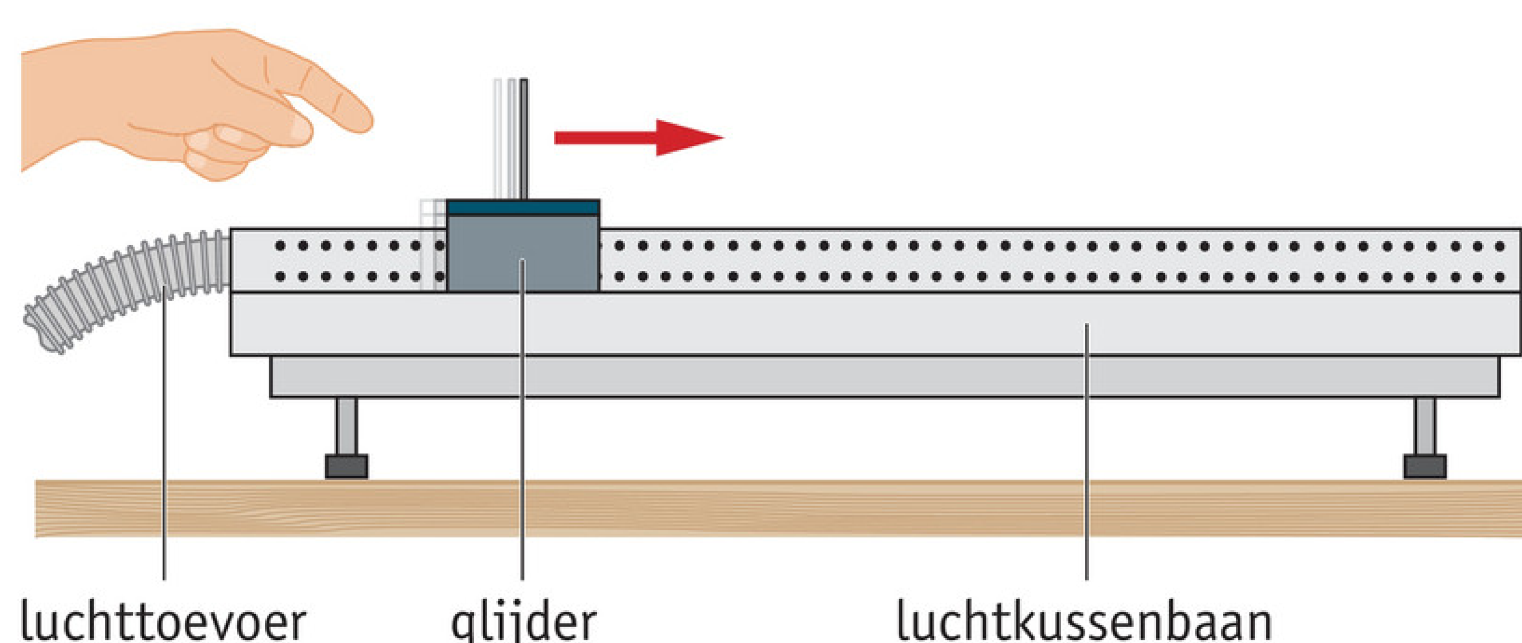
De Engelse natuurkundige Isaac Newton gaf een overtuigend antwoord op deze vraag. Hij redeneerde als volgt: als er geen krachten werken, dan is er niets wat het voorwerp afremt en niets wat het laat versnellen. Er is ook niets wat het voorwerp naar links of rechts van zijn koers laat afwijken. Er verandert dus helemaal niets aan de beweging. Als het voorwerp stilstaat, blijft het stilstaan. En als het voorwerp al beweegt, dan beweegt het verder met een constante snelheid langs een rechte lijn.

Newton realiseerde zich dat zijn redenering ook toepasbaar is als de resultante van alle krachten nul is. In dat geval heffen de krachten elkaar op. Ook dan is er niets wat de grootte of de richting van de beweging kan veranderen. Met andere woorden:

> Als de resultante van alle krachten 0 N is, is het voorwerp in rust, of het beweegt met een constante snelheid langs een rechte lijn.

Deze regel wordt de **eerste wet van Newton** genoemd.

Met de luchtkussenbaan in figuur 3 kun je een proef uitvoeren waarin je Newtons eerste wet test. Zo'n baan heeft een groot aantal gaatjes waar lucht uitstroomt. Doordat de glijder op een dun laagje lucht zweeft, zijn de weerstandskrachten te verwaarlozen. Bij de afgebeelde proef krijgt de glijder een duwtje. Daarna beweegt hij vanzelf verder met een vrijwel constante snelheid. Dat is precies wat je op grond van de eerste wet van Newton zou verwachten.



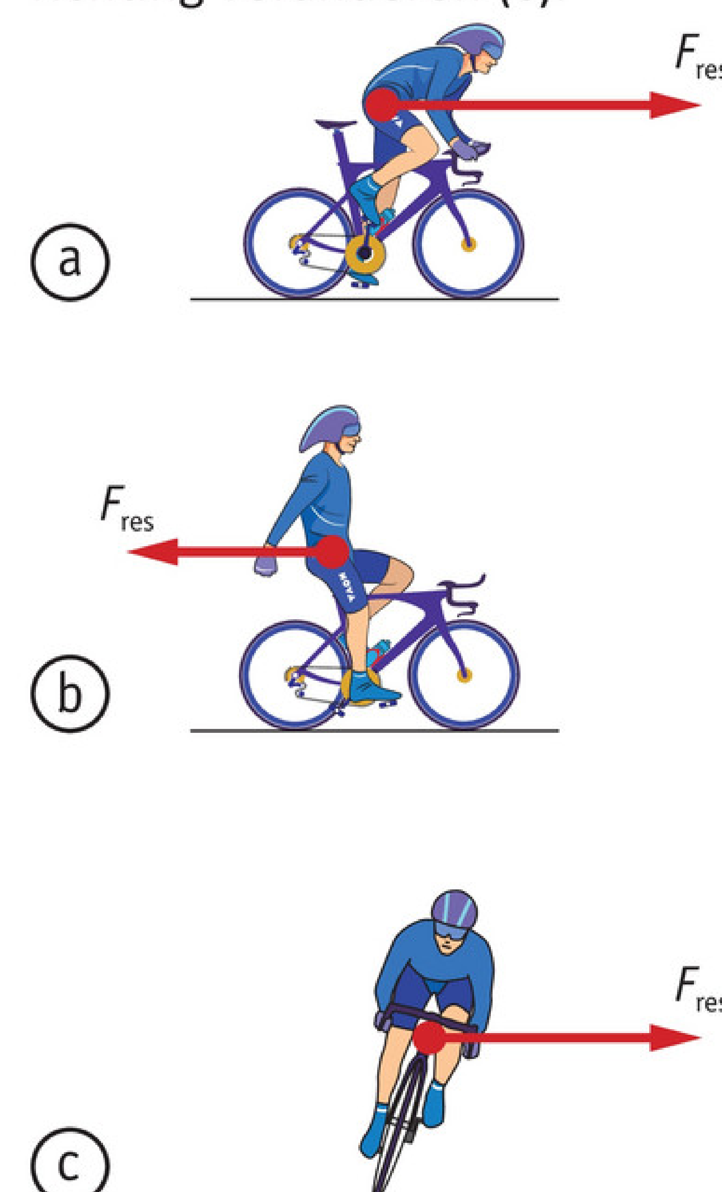
figuur 3 Na een duwtje beweegt de glijder met een vrijwel constante snelheid verder.

VERANDERING VAN BEWEGING

In veel situaties is de resultante van alle krachten niet gelijk aan 0 N. De krachten op het bewegende voorwerp heffen elkaar dan niet op. Er blijft een resultante over met een bepaalde grootte en een bepaalde richting. In dat geval verandert de beweging van het voorwerp. Er zijn verschillende mogelijkheden:

1 Als de richting van de resultante gelijk is aan de bewegingsrichting, versnelt de beweging het voorwerp. Dat zie je bij een wielrenner die fanatiek optrekt bij de start van een tijdrit: de snelheid wordt steeds groter (figuur 4a).
2 Als de richting van de resultante tegengesteld is aan de bewegingsrichting, vertraagt de beweging van het voorwerp. Dat zie je bij een wielrenner die rustig uitrijdt na de finish: de snelheid wordt steeds kleiner (figuur 4b).
3 Als de richting van de resultante loodrecht staat op de bewegingsrichting, verandert alleen de bewegingsrichting. Dat zie je bij een wielrenner die een bocht neemt zonder daarbij vaart te minderen (figuur 4c).
4 Als de resultante een niet-loodrechte hoek maakt met de bewegingsrichting, verandert zowel de snelheid als de bewegingsrichting. Dat zie je bij een wielrenner die een bocht neemt en tegelijk afremt. De resultante wijst dan schuin naar achteren.

figuur 4 De resultante laat de wielrenner versnellen (a), vertragen (b) en van richting veranderen (c).



VOORBEELDOPDRACHT 1

Jules rijdt met constante snelheid over de dijk, tegen de wind in naar school. De voortstuwende kracht (F_{vs}) op zijn fiets is voortdurend gelijk aan 30 N.

1 Bepaal hoe groot de weerstandskrachten F_w op zijn fiets samen zijn.

gegevens F_{vs} = 30 N
gevraagd F_w = ?
uitwerking De resultante is 0 N, omdat Jules met constante snelheid beweegt.
Er geldt dus: $F_w = F_{vs}$ = 30 N

2 Plotseling gaat de wind liggen. De weerstandskrachten zijn nu samen nog maar 20 N.
Bepaal hoe groot de resultante op Jules dan wordt. Leg uit hoe de beweging van Jules daardoor verandert.

gegevens F_{vs} = 30 N
F_w = 20 N
gevraagd F_{res} = ?
uitwerking De resultante is: $F_{res} = F_{vs} - F_w$ = 30 N − 20 N = 10 N

Omdat de voortstuwende kracht groter is dan alle weerstandskrachten samen, zal Jules' snelheid toenemen: hij versnelt.

PLUS DE LUCHTWEERSTANDSKRACHT

De fietser in figuur 5 ondervindt twee soorten weerstandskrachten: rol- en luchtweerstand. Als je fietst hangt de grootte van de luchtweerstandskracht af van vier factoren:

1 De snelheid *v*. Als je snel rijdt, moet je per seconde meer lucht opzij duwen en is de luchtweerstand groter.
2 De dichtheid *ρ* van de lucht. Als de dichtheid van de lucht toeneemt, is de massa van de opzij te duwen lucht groter en is dus ook de luchtweerstand groter.
3 De frontale oppervlakte (*A*). Wielrenners zitten voorovergebogen op hun fiets om hun frontale oppervlak zo klein mogelijk te maken.
4 De kwaliteit van de stroomlijn die wordt aangegeven met de **weerstandscoëfficiënt** C_w. Hoe beter de stroomlijn, hoe kleiner C_w. Een bol heeft bijvoorbeeld een veel kleinere C_w dan een even grote kubus.

Deze vier factoren komen samen in de formule voor de luchtweerstandskracht:

$$F_{w,l} = \tfrac{1}{2} C_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

Hierin is:
- $F_{w,l}$ de grootte van de luchtweerstandskracht in Newton (N);
- C_w de weerstandscoëfficiënt, een constante die afhangt van de stroomlijn van het voorwerp (geen eenheid);
- ρ de dichtheid van de lucht in kilogram per kubieke meter (kg/m^3);
- A de frontale oppervlakte in vierkante meter (m^2);
- v de snelheid van het voorwerp in meter per seconde (m/s).

Je ziet dat de luchtweerstandskracht 9× zo groot wordt als de snelheid 3× zo groot wordt.



figuur 5 Op de fiets heb je last van luchtweerstand.

VOORBEELDOPDRACHT 2

Tijdens een tenniswedstrijd bereikt een tennisbal een snelheid van 150 km/h.
De weerstandscoëfficiënt van de bal is 0,47, de diameter is 6,6 cm. De dichtheid van lucht is 1,3 kg/m^3.
Bereken de luchtweerstandskracht op de bal.

gegevens v = 150 km/h = 41,7 m/s
C_w = 0,47
$r = \frac{1}{2}d$ = 3,3 cm = 0,033 m
ρ = 1,3 kg/m^3

gevraagd $F_{w,l}$ = ?

uitwerking $A = \pi \cdot r^2$ (De frontale oppervlakte is een cirkel.)
$= \pi \times 0{,}033^2 = 0{,}003\ 42$ m^2
$F_{w,l} = \frac{1}{2} C_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$
$= 0{,}5 \times 0{,}47 \times 1{,}3 \times 0{,}003\ 42 \times 41{,}7^2 = 1{,}8$ N

De luchtweerstandskracht bedraagt dus ongeveer 1,8 N.


Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Waardoor ontstaan de luchtweerstand en de rolweerstand op een rijdende fiets?
b Hoe kun je de luchtweerstand die op je lichaam werkt verminderen als je fietst?
c Waarom pompt een wielrenster de banden van haar fiets zo hard mogelijk op?
d Wat zegt de eerste wet van Newton over een voorwerp dat beweegt?

2 Op welke manier beweegt een voorwerp:

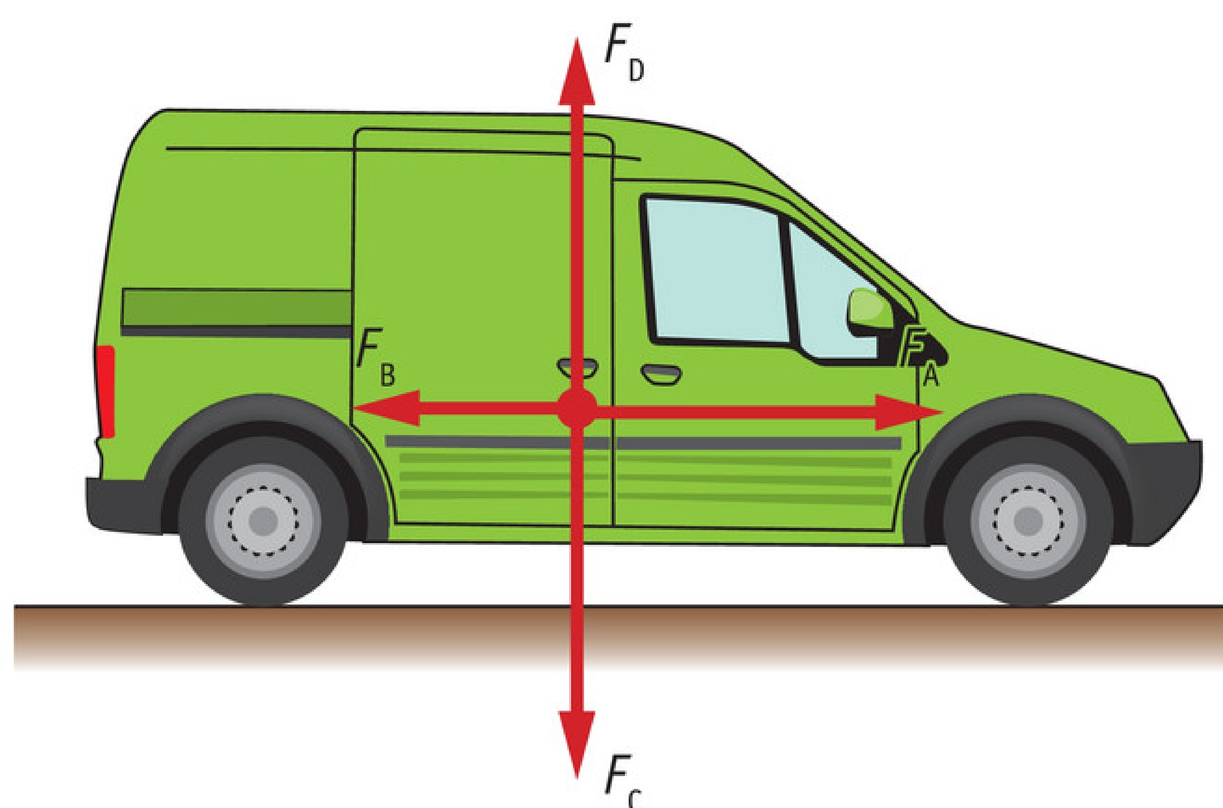
a als de resultante in de bewegingsrichting werkt?
b als de resultante op het voorwerp gelijk is aan 0 N?
c als de resultante tegen de bewegingsrichting in werkt?
d als de resultante loodrecht op de bewegingsrichting staat?

TOEPASSING

3 Marlous trekt een slee met haar vriendin erop door de sneeuw. Ze trekt met een kracht van 50 N. De slee beweegt met een constante snelheid van 4 km/h door de sneeuw.

a Wat is de belangrijkste kracht die tegen de bewegingsrichting in werkt en hoe wordt die veroorzaakt?
b Beredeneer hoe groot de resulterende kracht is die op de slee werkt.

4 Op een rijdend busje werken vier krachten F_A, F_B, F_C en F_D (figuur 6). Om de tekening eenvoudig te houden, heeft de tekenaar alle krachten laten aangrijpen in het zwaartepunt Z.



figuur 6 De krachten op een busje.

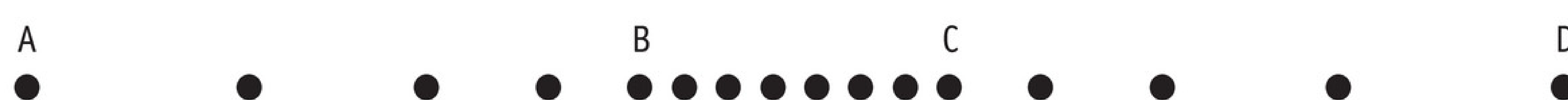
a Geef de namen van deze vier krachten.

- F_A = ...
- F_B = ...
- F_C = ...
- F_D = ...

b De grootte van de krachten F_A en F_B kan veranderen.
Wanneer is F_B gelijk aan 0 N?

c Het busje heeft een lekkage en verliest elke seconde een druppel olie. In figuur 7 zie je het oliespoor dat het busje op de weg achterlaat. Het busje bewoog van links naar rechts.
Leg uit hoe het busje bewoog:
- tussen A en B
- tussen B en C
- tussen C en D

d Beredeneer of $F_A > F_B$, $F_A = F_B$, of $F_A < F_B$:
- tussen A en B
- tussen B en C
- tussen C en D



schaal 1:1000

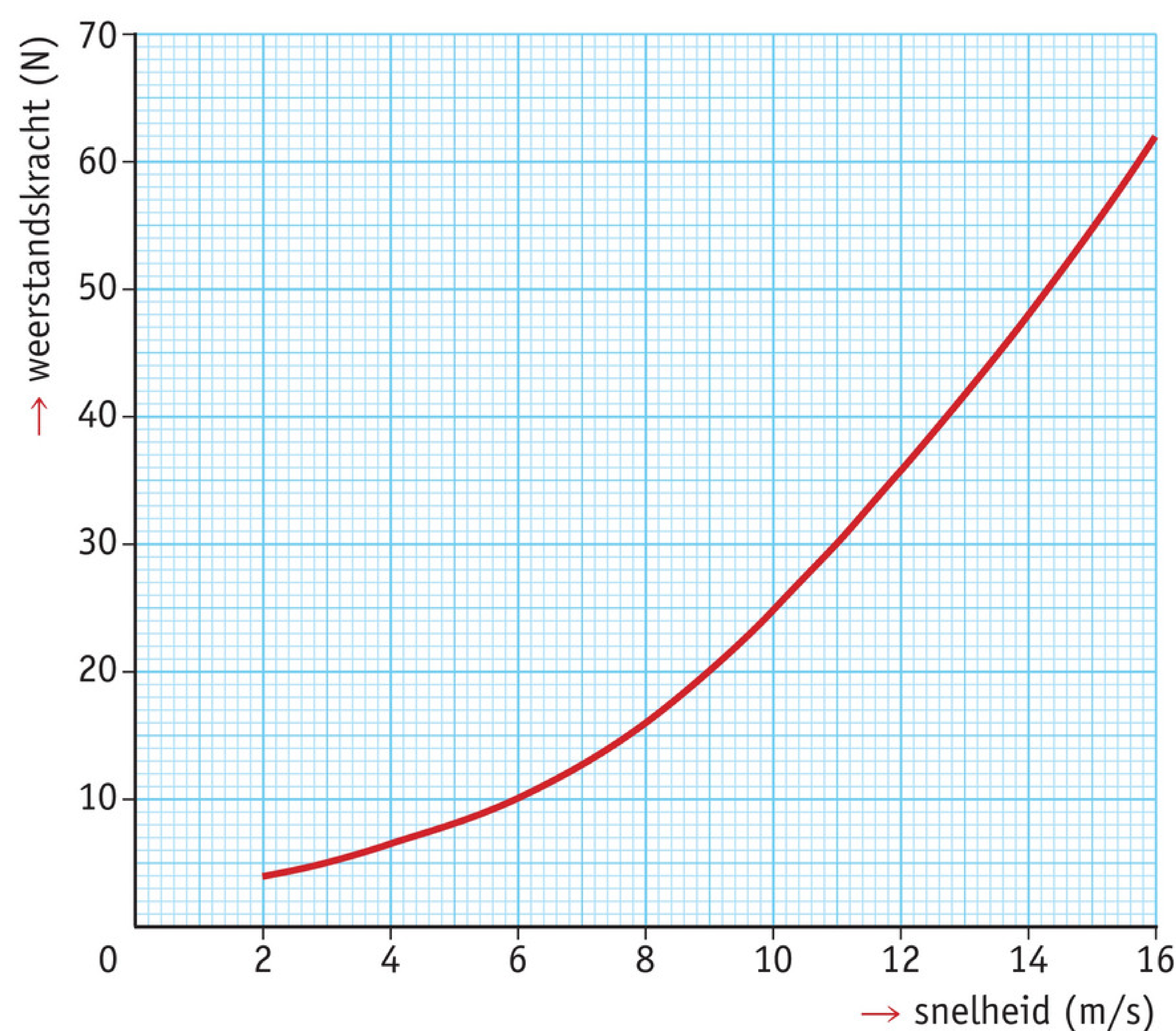
figuur 7 Het oliespoor dat het busje achterliet op de weg.

5 Carla traint regelmatig op haar racefiets. In figuur 8 is het verband getekend tussen de totale weerstandskracht en haar snelheid.

a Carla rijdt eerst een poosje met een constante snelheid van 11 m/s.
Bepaal de grootte van de voortstuwende kracht.

b Op een gegeven moment gaat Carla harder trappen. Op haar fiets werkt dan enige tijd een constante voortstuwende kracht van 40 N.
Hoe groot is de resultante op het moment dat ze begint te versnellen?

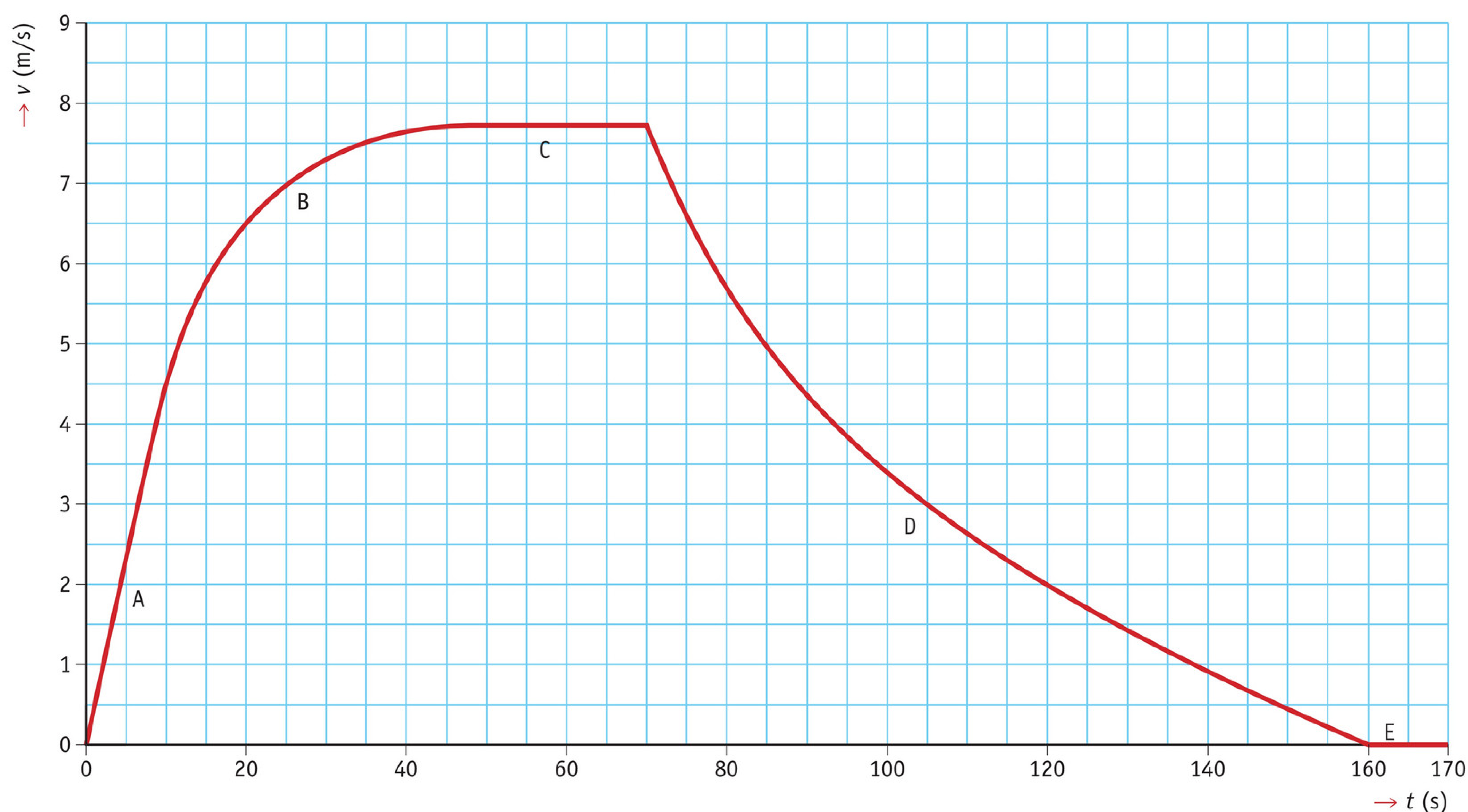
c Bepaal de (constante) snelheid die Carla uiteindelijk bereikt.



figuur 8 Het verband tussen de snelheid en de totale weerstandskracht.

6 Jantine rijdt een klein eindje op haar fiets. In figuur 9 zie je het (*v*,*t*)-diagram van haar beweging. Het diagram is verdeeld in vijf delen: A, B, C, D en E.
Is F_{vs} groter dan F_w, gelijk aan F_w of kleiner dan F_w? Licht je antwoord telkens toe.

a in deel A van de beweging
b in deel B van de beweging
c in deel C van de beweging
d in deel D van de beweging
e in deel E van de beweging



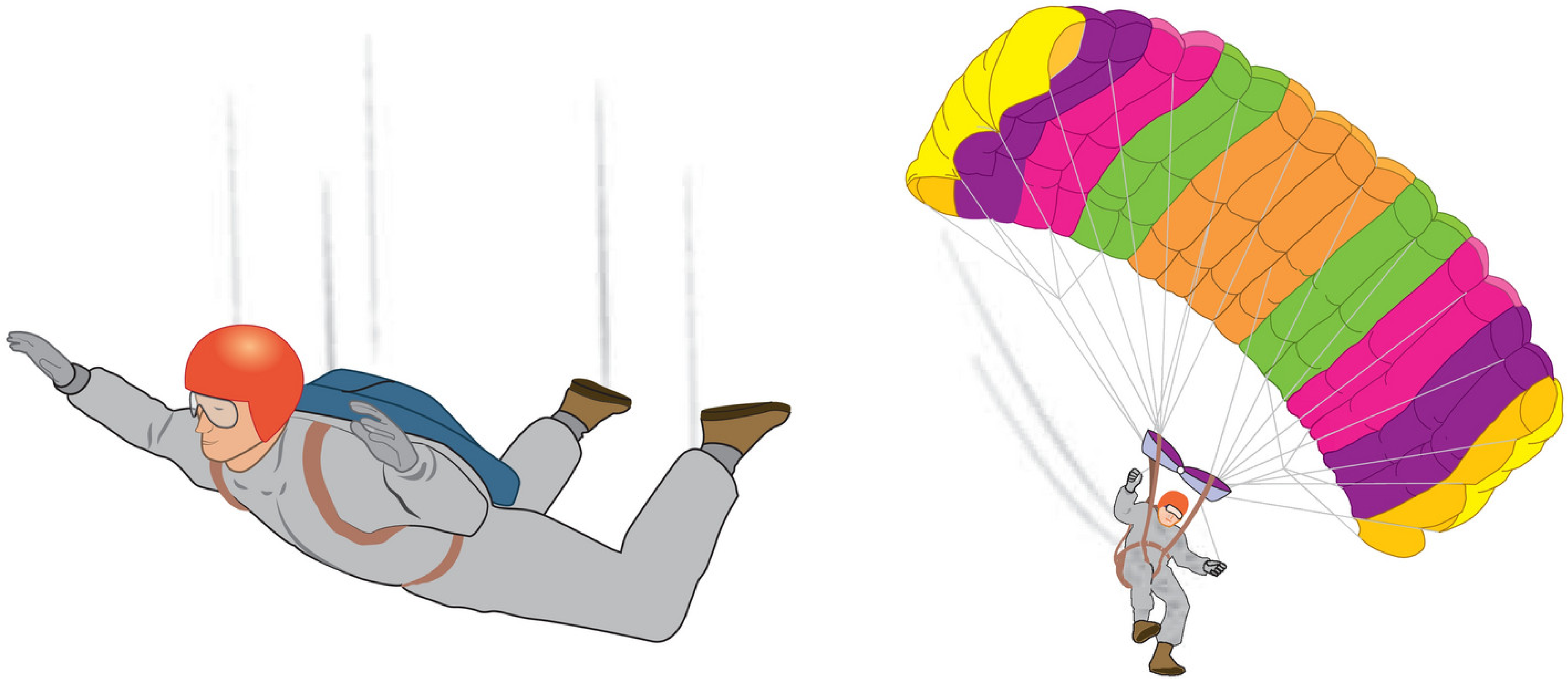
figuur 9 Het (*v*,*t*)-diagram van Jantines beweging.

★ 7 Op een liftkooi werken twee krachten: de zwaartekracht (F_z) en de spankracht in de kabel (F_s). De grootte van de weerstandskrachten is te verwaarlozen.
Vergelijk de grootte van F_z met de grootte van F_s in de volgende situaties. Licht je antwoord telkens toe.

a De kooi beweegt omhoog; de snelheid neemt toe.
b De kooi beweegt omhoog met een constante snelheid.
c De kooi beweegt omhoog; de snelheid neemt af.
d De kooi hangt stil zonder te bewegen.
e De kooi beweegt omlaag; de snelheid neemt toe.
f De kooi beweegt omlaag; de snelheid neemt af.

8 Een skydiver springt uit een vliegtuig. In figuur 10 zie je twee momentopnamen van zijn sprong. In beide situaties valt de skydiver met een constante snelheid.
Wat kun je zeggen als je de twee situaties met elkaar vergelijkt:

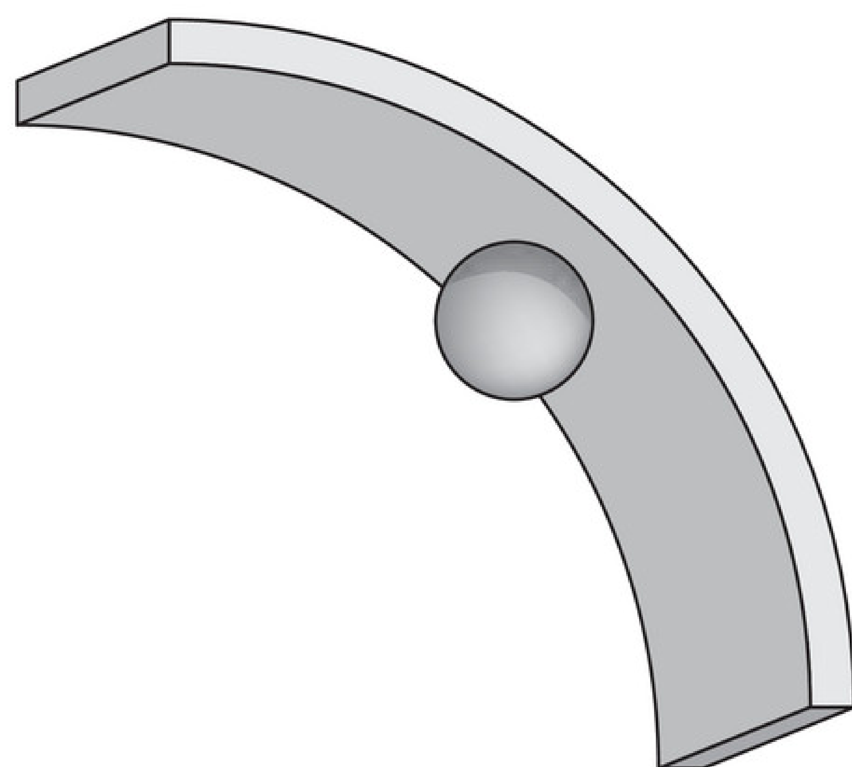
a over de grootte van de resultante?
b over de grootte van de snelheid?
c over de grootte van de luchtweerstandskracht?



figuur 10 Een skydiver op twee momenten van zijn sprong.

★ 9 Een bal rolt van rechtsonder naar linksboven langs een cirkelvormige rand, zoals in figuur 11.

a Teken in figuur 11 hoe de bal verder rolt als hij loskomt van de rand. Leg je antwoord uit.
b Een voorwerp kan alleen een cirkelbaan beschrijven als er een resultante is.
Teken in figuur 11 de resultante op de bal terwijl hij langs de rand rolt.



figuur 11 Een bal rolt langs een cirkelvormige rand.

PLUS DE LUCHTWEERSTAND BEREKENEN

10 Elk voorwerp heeft zijn eigen weerstandscoëfficiënt C_w (tabel 1).

tabel 1 C_w-waarden van enkele bewegende ‘voorwerpen’.

voorwerp	C_w
personenauto	0,3-0,5
skiër	0,9
toerfietser	0,9-1,1
vrachtauto	0,6-1,0
wielrenner/schaatser	0,7-0,9

a Verklaar het verschil tussen de waarden van C_w van een toerfietser en een wielrenner.
b De ene personenauto kan een kleinere C_w-waarde hebben dan een andere en toch een grotere luchtweerstandskracht ondervinden (bij dezelfde snelheid).
Leg uit hoe dat kan.
c Vergelijk de luchtweerstandskracht op twee vrachtauto’s A en B. Ze hebben beide hetzelfde frontaal oppervlak, maar de C_w-waarde van vrachtauto A is 0,80, die van B is 1,0.
Vrachtauto B rijdt met een twee keer zo grote snelheid als vrachtauto A.
Leg uit hoeveel maal zo groot de luchtweerstandskracht op vrachtauto B is in vergelijking met vrachtauto A.

11 Bij indoor skydiven kun je in een verticale windtunnel blijven zweven op de luchtstroom die met grote kracht omhoog wordt geblazen. In figuur 12 zie je Roos (massa 65 kg) net boven het ventilatierooster op de luchtstroom zweven. De lucht (dichtheid 1,29 kg/m^3) wordt met 200 km/h omhoog geblazen.
a Maak met een berekening een schatting van de waarde van de weerstandscoëfficiënt C_w van Roos in deze positie. Ga eerst na welke grootheid je moet schatten.
b Als Roos haar armen wat intrekt en haar onderbenen naar boven beweegt, neemt haar frontale oppervlakte af. Ga ervan uit dat haar C_w-waarde niet verandert.
Leg uit of Roos omhoog of omlaag zal bewegen.
c Als de snelheid van de luchtstroom met 8% toeneemt, kan Roos in de nieuwe houding weer op dezelfde manier zweven als bij opdracht a. Bereken met hoeveel procent haar frontale oppervlakte is afgenomen door de nieuwe houding. Ga er weer van uit dat C_w niet is veranderd.



figuur 12 Zweven op een luchtstroom.

4 Krachten in het heelal

LEERDOELEN

2.4.1 Je kunt de structuur van het zonnestelsel beschrijven (zon, planeten en hun bewegingen).
2.4.2 Je kunt uitleggen hoe het komt dat planeten steeds een ellips rond de zon beschrijven.
2.4.3 Je kunt toelichten dat de zwaartekracht de middelpuntzoekende kracht in het zonnestelsel is.
2.4.4 Je kunt beredeneren dat een voorwerp of persoon in vrije val geen gewicht heeft.
2.4.5 Je kunt uitleggen dat astronauten in een ruimtestation permanent gewichtloos zijn.
PLUS 2.4.6 Je kunt een kracht door een constructie ontbinden in twee componenten.

Wetenschappers hebben lang gedacht dat de zwaartekracht alleen vlak bij de aarde actief is. Ze geloofden dat sterren en planeten zich in de 'hemelse sferen' bevinden, ver buiten het bereik van de zwaartekracht. Dat idee bleek niet te kloppen. De zwaartekracht komt overal in het heelal voor en bepaalt hoe sterren, planeten en manen bewegen.

HET ZONNESTELSEL

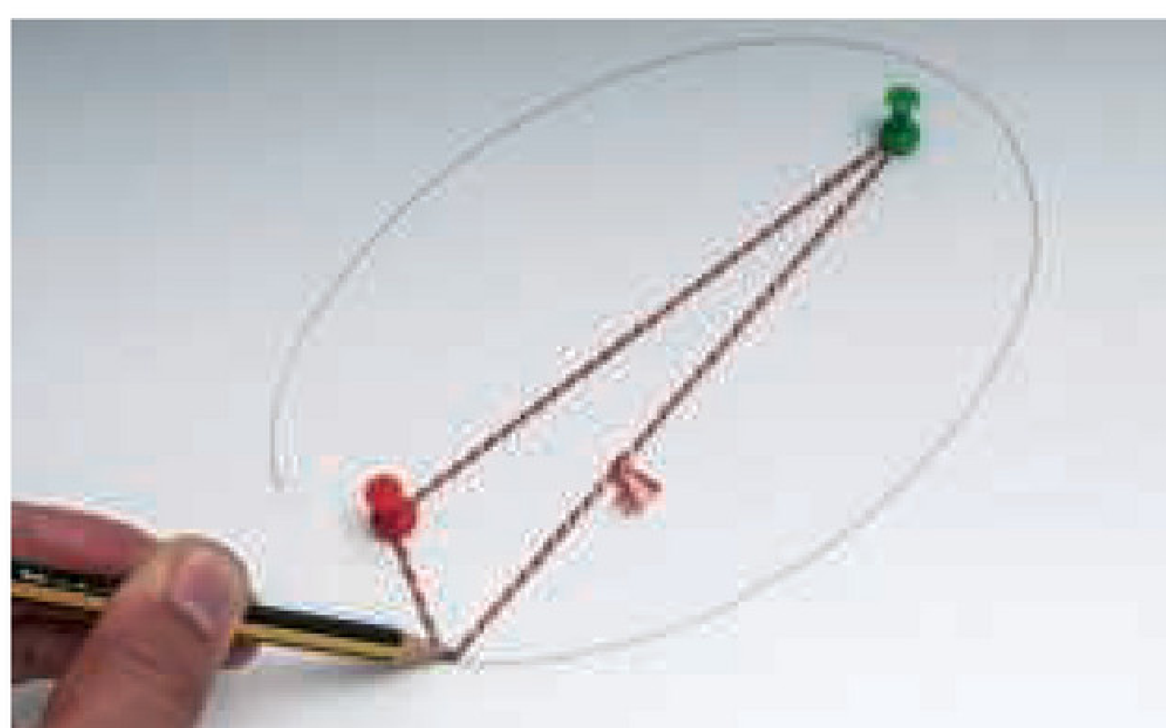
De aarde is een van de planeten in het zonnestelsel (figuur 1). Net als Mercurius, Venus en Mars hoort de aarde bij de 'aardse planeten'. Deze planeten zijn relatief klein en hebben een rotsachtig oppervlak. De 'gasreuzen' Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus zijn veel groter. Ze bestaan bijna helemaal uit gassen en hebben geen oppervlak waarop je kunt lopen.



figuur 1 Het zonnestelsel (niet op schaal).

De afstanden in het zonnestelsel zijn enorm groot. Daarmee vergeleken zijn de planeten zelf heel klein. De aarde staat gemiddeld op 150 miljoen km van de zon, terwijl de diameter van de aarde afgerond 'maar' 13 duizend km is. Daarom is het zonnestelsel in figuur 1 niet op schaal getekend: anders zou je de planeten helemaal niet kunnen zien en zou zelfs de zon niet meer zijn dan een stipje.

De planeten draaien in elliptische (ellipsvormige) banen rond de zon. Een ellips is een wiskundige figuur die eruitziet als een afgeplatte cirkel. In figuur 2 zie je hoe je een ellips kunt tekenen met twee punaises, een touwtje en een potlood. De plaatsen waar je de punaises neerzet, noem je de **brandpunten** van de ellips. Hoe kleiner de afstand tussen de brandpunten, des te meer de ellips op een cirkel lijkt. De ellipsen waarin de planeten ronddraaien, zijn bijna cirkelvormig.



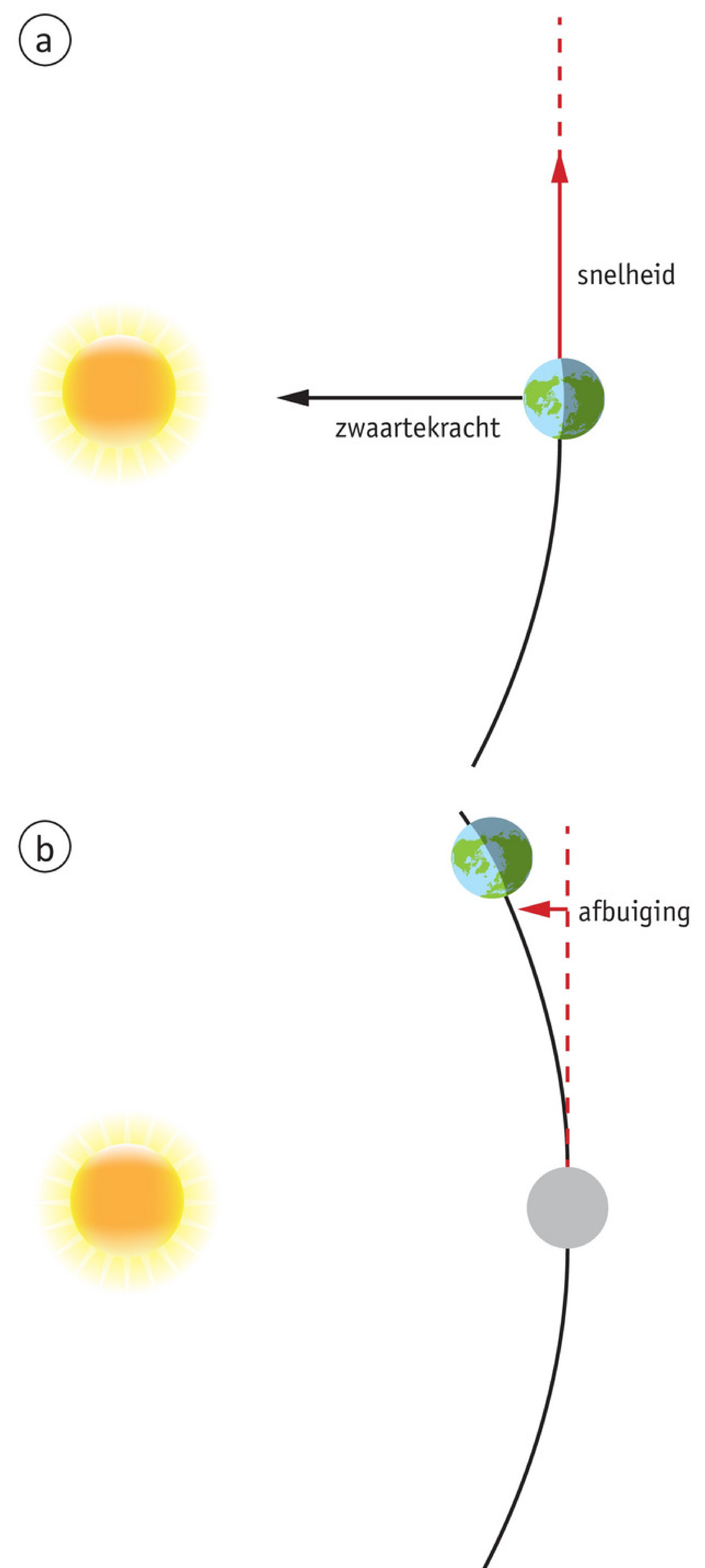
figuur 2 Zo teken je een ellips.

De aarde draait in een jaar één keer rond de zon. Naast de baan om de zon draaien planeten ook om hun eigen as. De aarde bijvoorbeeld maakt in bijna 24 uur een omwenteling rond de lijn die van de noordpool, door het middelpunt van de aarde naar de zuidpool loopt. Dat een dag (24 uur) iets langer duurt dan de omwentelingstijd om de as, komt doordat de beweging van de aarde rond de zon ook een kleine bijdrage levert aan de daglengte.

DE ROL VAN DE ZWAARTEKRACHT

De structuur van het zonnestelsel was al bekend in de tijd voor Isaac Newton. Wetenschappers hadden een goed idee van de afstanden tussen de zon en de planeten. Ze wisten dat de planeten een ellips rond de zon beschrijven en dat de zon in een van de brandpunten staat. Maar ze konden niet verklaren waardoor de planeten op deze manier bewegen.

figuur 3 Het effect van de zwaartekracht op de beweging van een planeet.



Newton vroeg zich af hoe een planeet zou bewegen als de zon er helemaal niet zou zijn. Volgens zijn eerste wet zou de planeet in dat geval met een constante snelheid rechtdoor bewegen, langs een rechte lijn. Er zijn dan geen krachten waardoor de beweging van de planeet kan veranderen.

Zijn vraag werd toen: welke kracht laat een planeet dan afbuigen van die rechte lijn? Waardoor beweegt een planeet niet steeds verder in dezelfde richting, zoals een tennisbal die je wegslaat? Zo'n tennisbal komt niet met een grote bocht bij jou terug. Waardoor beschrijft een planeet dan wel een ellips rond de zon?

Newton kwam tot de conclusie dat de zwaartekracht hiervoor verantwoordelijk is. Net zoals een appel uit een boom wordt aangetrokken door de aarde, wordt een planeet aangetrokken door de zon. Dat een planeet niet recht naar de zon toe valt, komt doordat hij met grote snelheid beweegt. De zwaartekracht én de eigen snelheid van de planeet zorgen er samen voor dat de planeet in een baan rond de zon blijft.

In figuur 3 is getekend hoe dat werkt. Zoals je ziet, staat de zwaartekracht bijna loodrecht op de bewegingsrichting van de planeet (figuur 3a). De planeet beweegt daardoor niet in een rechte lijn, maar buigt af in de richting van de zwaartekracht (figuur 3b). En dat gaat de hele tijd zo door: de zwaartekracht laat de planeet voortdurend afbuigen, zodat hij uiteindelijk een volledige ellips rond de zon beschrijft.

DE MIDDELPUNTZOEKENDE KRACHT

Bij elke draaiende beweging is er een **middelpuntzoekende kracht** die het voorwerp laat afbuigen. In het zonnestelsel is de zwaartekracht de middelpuntzoekende kracht: hierdoor draaien de planeten rond de zon. In figuur 4 zie je een andere situatie waarin een voorwerp ronddraait. Hier is het de spierkracht van de atleet (overgebracht door een stalen kabel) die de kogel in zijn baan rond de atleet houdt.



figuur 4 Er is een flinke kracht nodig om de kogel steeds van richting te laten veranderen.

Newton ging ervan uit dat de zwaartekracht omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de afstand tussen twee voorwerpen. Als een voorwerp twee keer zo ver van de zon staat, is de zwaartekracht op het voorwerp vier keer zo klein, want $2^2 = 4$. Als een voorwerp drie keer zo ver van de zon staat, is de zwaartekracht op het voorwerp negen keer zo klein, want $3^2 = 9$. Newton kon wiskundig bewijzen dat de zwaartekracht in dit geval exact de middelpuntzoekende kracht oplevert voor de waargenomen beweging van de planeten.

Newtons theorie werd al gauw toegepast op andere hemellichamen, zoals kometen (figuur 5). Hun baan en omlooptijd kon met Newtons theorie worden berekend. De Engelse astronoom Edmund Halley voorspelde dat een bepaalde komeet na 76 jaar weer zou terugkeren aan de hemel en dat is precies wat er in 1758 (16 jaar na Halleys overlijden) gebeurde. Door dit soort successen kregen Newtons ideeën in de achttiende eeuw een enorm gezag.



figuur 5 De komeet van Halley tijdens zijn laatste terugkeer in 1986.

VRIJE VAL EN GEWICHTLOOSHEID

Als je op aarde op een vloer staat, dan oefenen je voeten een kracht uit op de vloer. Die kracht is je **gewicht**. Je gewicht verdwijnt als je een sprong maakt. Je lichaam is dan even in **vrije val**; enkele tienden van seconden werkt alleen de zwaartekracht op je lichaam. Omdat je lichaam nergens op steunt, ben je even **gewichtloos**. Maar omdat een sprong zo kort duurt, ervaar je niet echt hoe dat is. Bij een paraboolvlucht (figuur 6) duurt de vrije val langer en is het gevoel van gewichtloosheid er wel.

Een ruimtestation dat in een baan rond de aarde is gebracht, verkeert constant in een toestand van vrije val. Het ruimtestation beweegt zonder dat het wordt voortgestuwd. De enige kracht die op het ruimtestation werkt, is de zwaartekracht van de aarde. Daardoor beweegt het in een ellips rond de aarde, met de zwaartekracht van de aarde als middelpuntzoekende kracht. De astronauten in het ruimtestation bewegen ook in vrije val en zijn daardoor permanent gewichtloos. De gewichtloosheid van astronauten die door een ruimtestation zweven is een goed voorbeeld van Newtons theorie.

Paraboolvlucht



Als je er wat geld voor over hebt, kun je genieten van een geweldige attractie: de paraboolvlucht. Tijdens zo'n paraboolvlucht, uitgevoerd met een Airbus A300, vliegt de piloot steil omhoog om het vliegtuig vervolgens met een boog gedurende zo'n twintig seconden een vrije val te laten maken. In die twintig seconden heerst aan boord gewichtloosheid, of met de officiële term: microgravitatie. Een vlucht bestaat uit dertig van die parabolen. Vluchten als deze worden gebruikt om toekomstige astronauten alvast te laten wennen aan de gewichtloosheid in hun ruimtestation.

Bron: De nieuwe ster

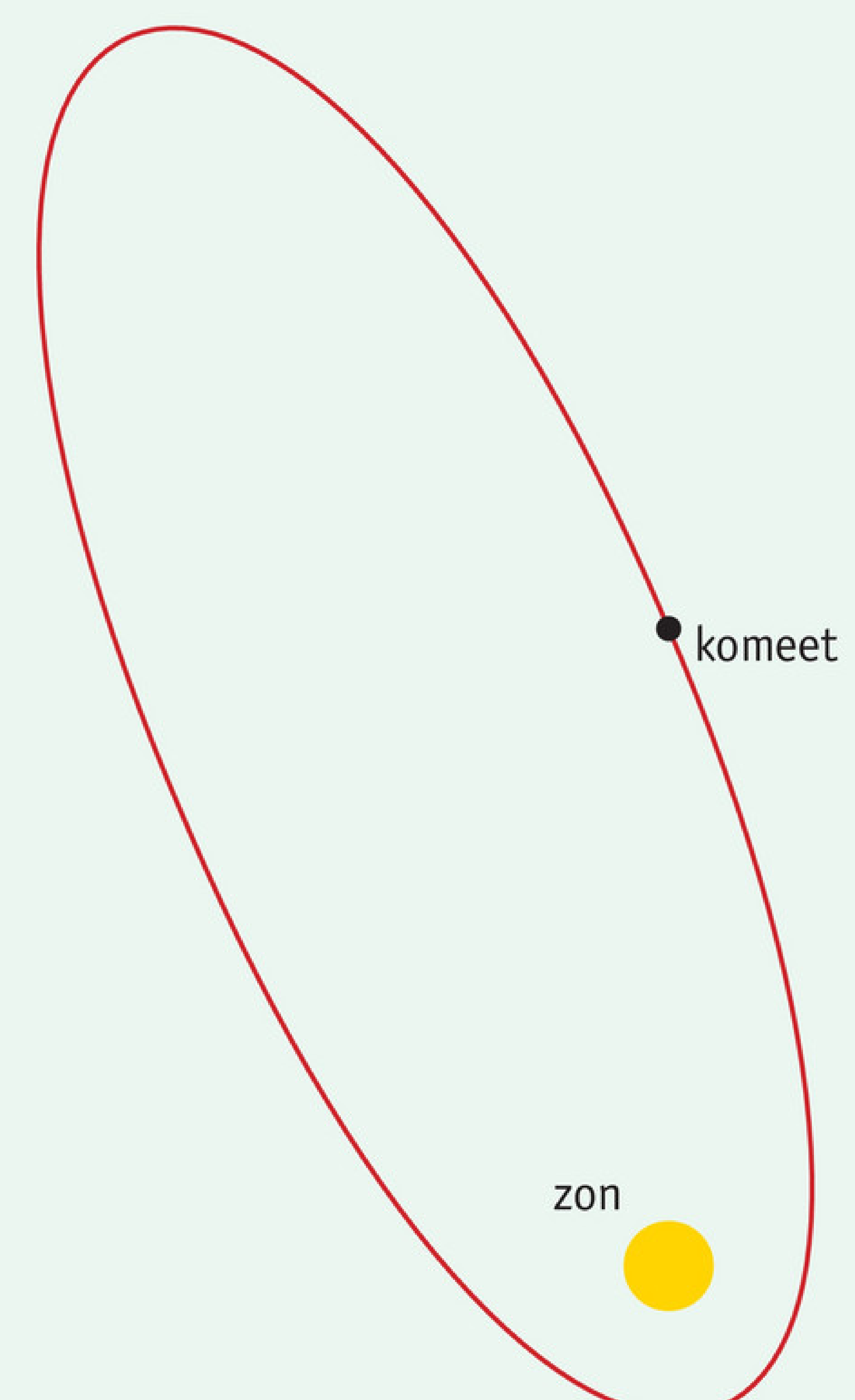
figuur 6 Gewichtloosheidtraining voor toekomstige astronauten.

PLUS ELLIPSBAAN VAN EEN KOMEET

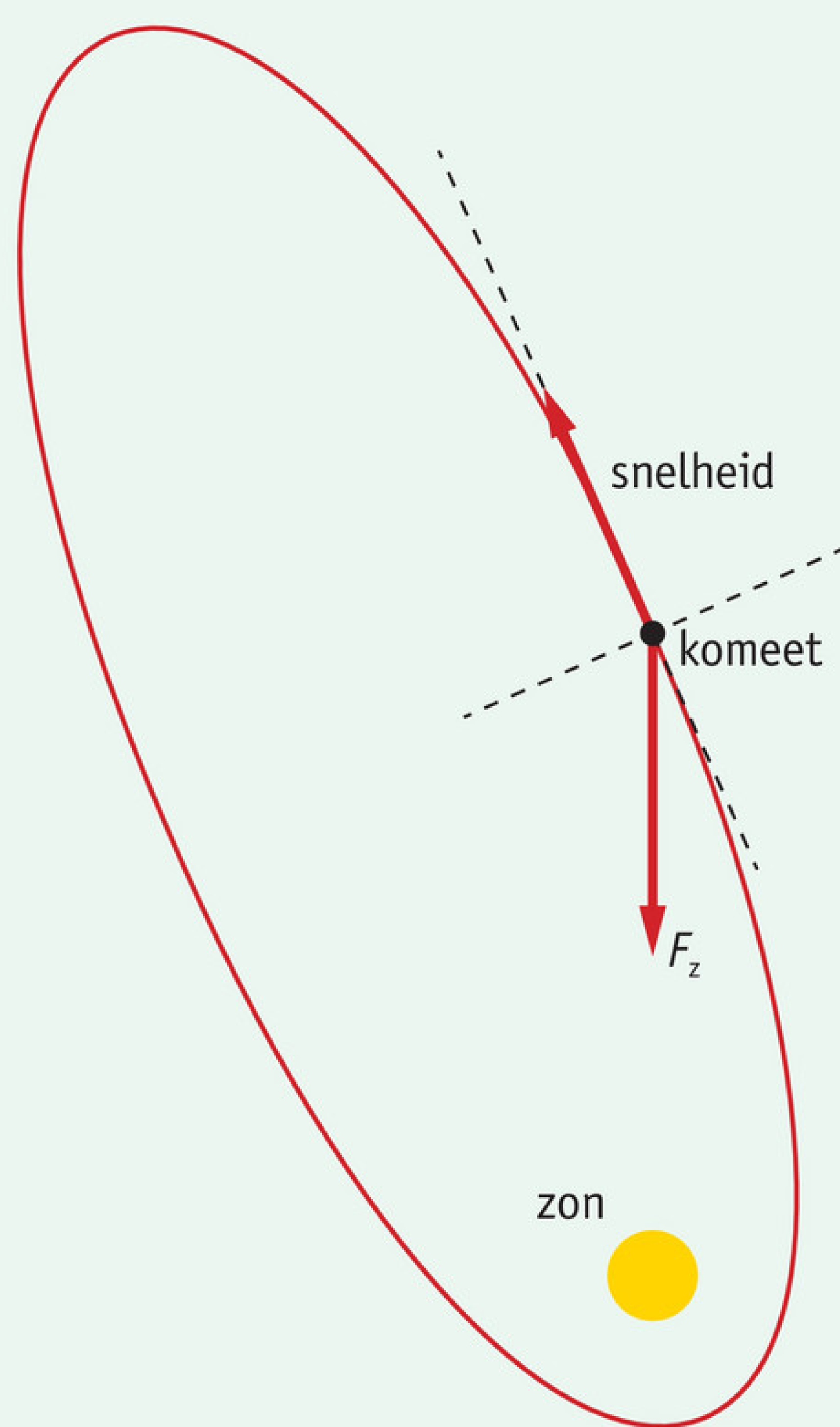
De kometen in ons zonnestelsel zijn veel kleiner dan planeten. Ze bestaan uit ijs, gas en stof en worden daarom ook wel 'vuile sneeuwballen' genoemd. De kraters op de maan en planeten tonen aan dat er veel komeetinslagen zijn geweest. Sterrenkundigen hebben grote interesse voor kometen. Ze onderzoeken bijvoorbeeld of kometen een deel van het water op aarde hebben gebracht en ze bestuderen de rol van kometen bij het ontstaan van leven.

De banen die kometen beschrijven, zijn anders dan de banen van de planeten. De planeetbanen zijn bijna cirkelvormig en de komeetbanen zijn sterk afgeplatte ellipsen (figuur 7).

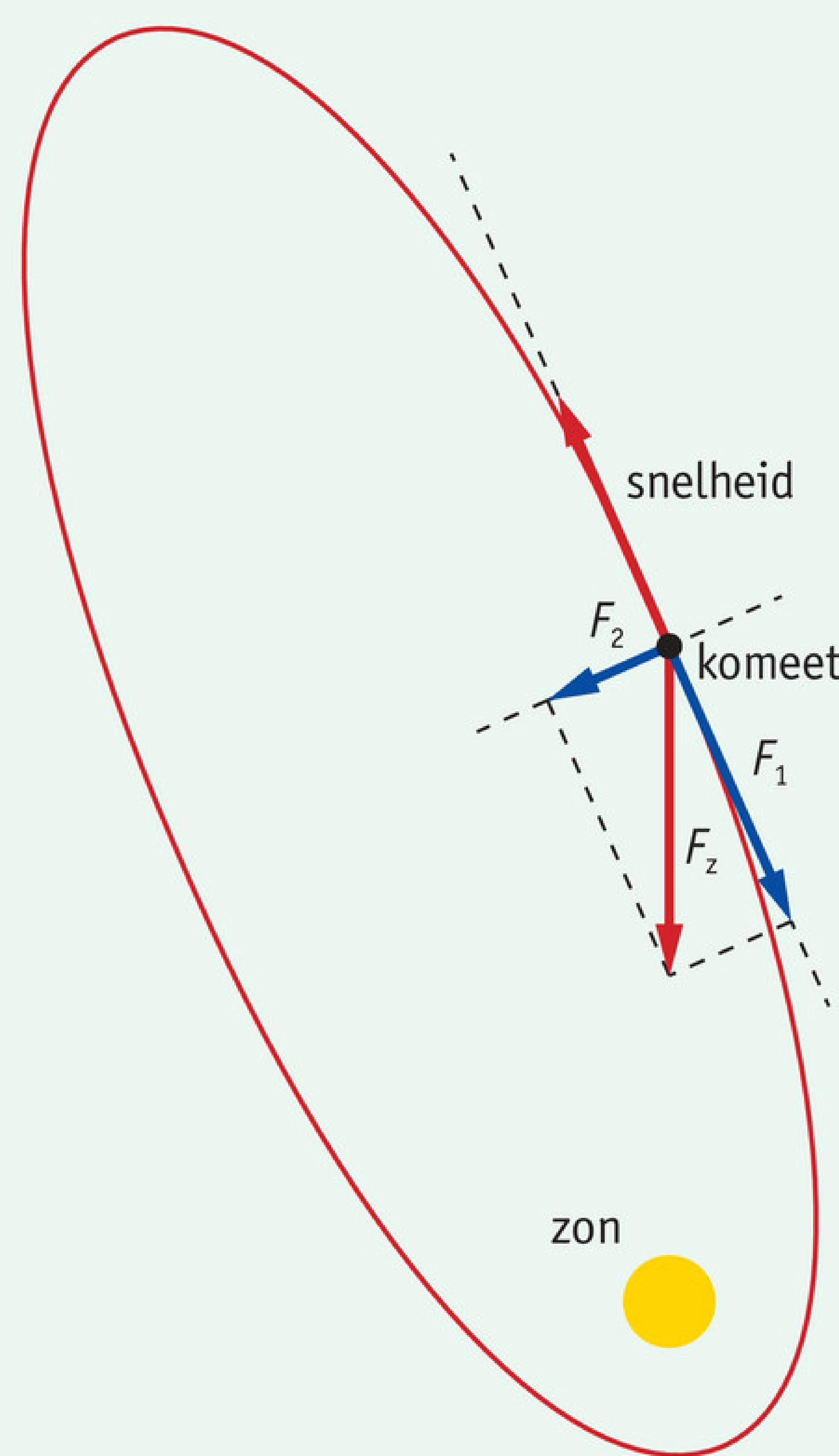
Net als bij planeten zorgt de zwaartekracht ervoor dat de komeet in zijn baan blijft. Deze zwaartekracht die de zon op de komeet uitoefent, wijst altijd in de richting van de zon. Bij een planeet staat de zwaartekracht bijna loodrecht op de bewegingsrichting, maar in figuur 8 zie je dat dit voor een komeet niet het geval is. De zwaartekracht staat schuin ten opzichte van de bewegingsrichting van de komeet.



figuur 7 De ellipsbaan van een komeet die tegen de klok in rond de zon draait.



figuur 8 De zwaartekracht op de komeet wijst in de richting van de zon.



figuur 9 De zwaartekracht op de komeet ontbonden in twee componenten.

Je hebt in dit hoofdstuk geleerd hoe je met de parallellogrammethode de resultante van twee krachten kunt bepalen. Maar als je weet wat de resultante is en je kent de krachten niet, dan kun je de parallellogrammethode ook gebruiken om te bepalen welke twee krachten samen deze resultante geven. Je noemt dat het **ontbinden** van de kracht in twee **componenten**. In figuur 9 zie je hoe de resultante F_z met de parallellogrammethode wordt ontbonden in twee componenten: F_1 tegen de bewegingsrichting van de komeet in en F_2 loodrecht daarop.

Elk van de componenten heeft een effect op de beweging van de komeet:
- F_1 zorgt voor een verandering van de snelheid van de planeet. In figuur 9 werkt F_1 tegen de beweging in en zorgt dus voor een vertraging. F_1 verandert de grootte van de snelheid, maar niet de richting.
- F_2 werkt loodrecht op de bewegingsrichting. Net als bij een planeet werkt F_2 als een middelpuntzoekende kracht die zorgt voor het afbuigen van de komeet. F_2 verandert de richting, maar niet de grootte van de snelheid.

 **Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.**

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Hoe komt het dat de aarde niet in een rechte lijn naar de zon toe valt?
b Welke kracht werkt als de middelpuntzoekende kracht die de planeten in hun baan houdt?
c De kracht die een voorwerp uitoefent op zijn ondersteuning heet het ....
d Onder welke omstandigheden ben je voortdurend gewichtloos?

2 Geef een voorbeeld van een situatie:

a waarin je gewicht en de zwaartekracht op je lichaam even groot zijn.
b waarin je gewicht en de zwaartekracht op je lichaam verschillend zijn.

TOEPASSING

3

Martin maakt een model van het zonnestelsel. Voor de aarde wil hij een knikker gebruiken met een diameter van 1,3 cm.

a Hoe groot is de diameter van de aarde in werkelijkheid?
b Welke schaal wil Martin gebruiken voor zijn model?
c De diameter van de zon is in werkelijkheid 1,4 miljoen km.
Hoe groot wordt de diameter van de zon in Martins model?
d Sterrenkundigen drukken afstanden vaak uit in astronomische eenheden (AE). Eén astronomische eenheid is gelijk aan de gemiddelde afstand tussen de aarde en de zon. Hoeveel is 1 AE in meter (afgerond)?
e Hoeveel is 1 AE in het model van Martin?
f Neptunus, de achtste en verste planeet, staat gemiddeld op 4,5 miljard km van de zon. Druk deze afstand uit in AE.
g Voor nog grotere afstanden gebruiken astronomen de eenheid lichtjaar.
Zoek de snelheid van licht op en bereken met hoeveel kilometer één lichtjaar overeenkomt.

4

Exoplaneten zijn planeten die om een andere ster draaien dan de zon. De afgelopen jaren zijn er honderden exoplaneten ontdekt. Sommige van deze planeten hebben sterk elliptische banen (figuur 10).

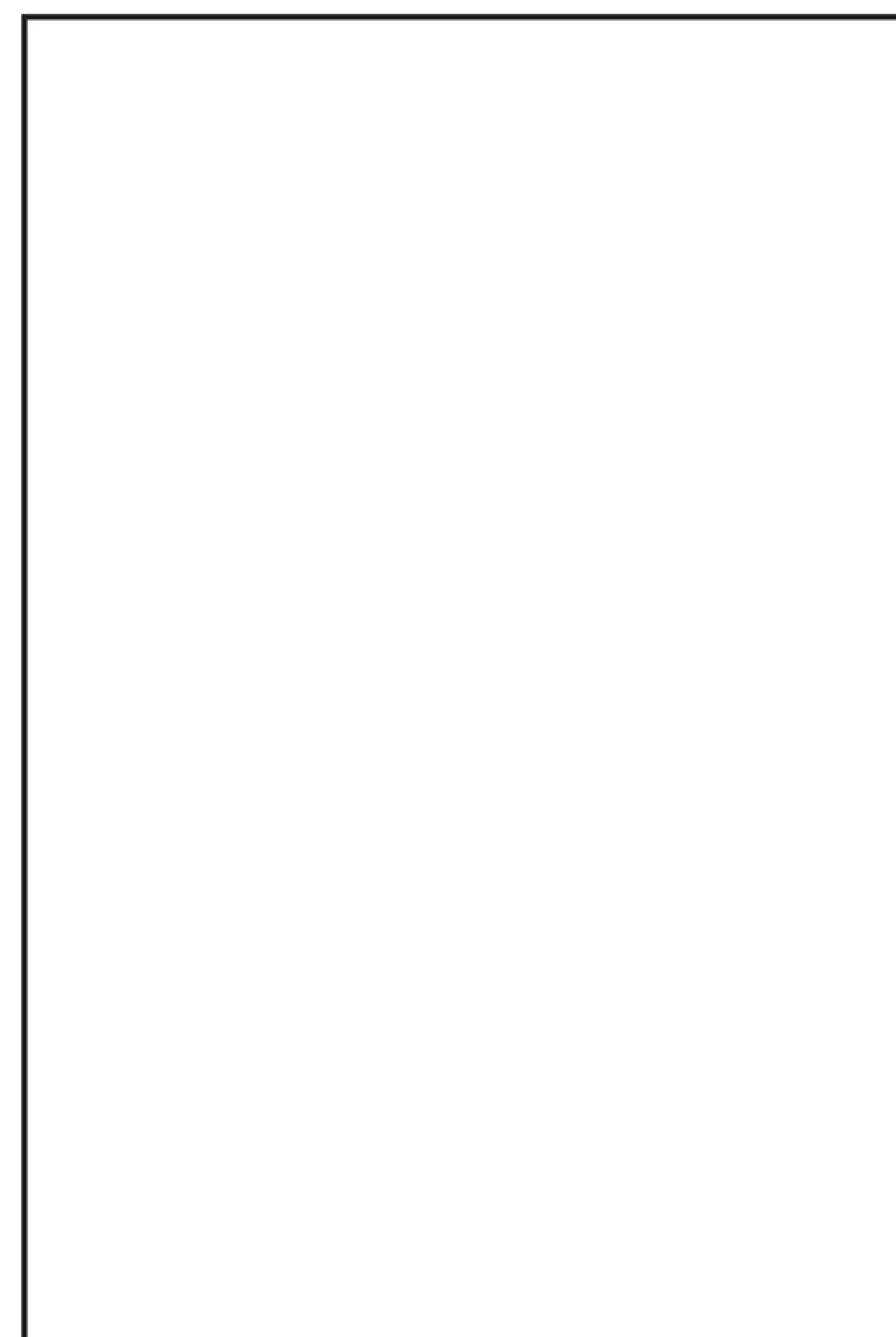
Geroosterde planeet

Een van de planeten buiten ons zonnestelsel komt zo dicht bij zijn zon dat hij in een paar uur een opwarming van wel 700 graden Celsius meemaakt. De planeet – een gasreus met de creatieve naam HD 80606b – bevindt zich op zo'n tweehonderd lichtjaar van de aarde, is ongeveer vier keer zo zwaar als Jupiter en draait in 111 aardse dagen om zijn zon.
De baan van deze planeet heeft de vorm van een ellips, met de ster in een van de brandpunten. Het ene moment staat de planeet zo ver weg als de aarde van de zon af staat, het andere moment staat hij op maar een dertigste van deze afstand.

Bron: www.wetenschap24.nl

figuur 10 Een exoplaneet met een exotische baan.

a Schets hoe de baan van exoplaneet HD 80606b eruitziet.
Teken de ster in een van de brandpunten.
b Hoe verschilt deze baan van de planeetbanen in ons zonnestelsel?
c Waarom is het goed dat de aarde niet zo'n baan heeft als HD 80606b?



★ 5

Satellieten draaien op dezelfde manier rond de aarde als planeten rond de zon. Een satelliet in een Low Earth Orbit (LEO) draait zijn rondjes op een hoogte van 160 km tot 2000 km boven het aardoppervlak. Hij wordt daarbij enigszins afgeremd door de extreem ijle atmosfeer op die hoogte.

a Leg uit hoe de baan van de satelliet verandert als zijn snelheid kleiner wordt.
b Wordt de satelliet in zijn nieuwe baan van opdracht a meer, evenveel of juist minder afgeremd? Licht je antwoord toe.
c Leg uit wat het uiteindelijke lot van de satelliet zal zijn als zijn brandstof opraakt.

6

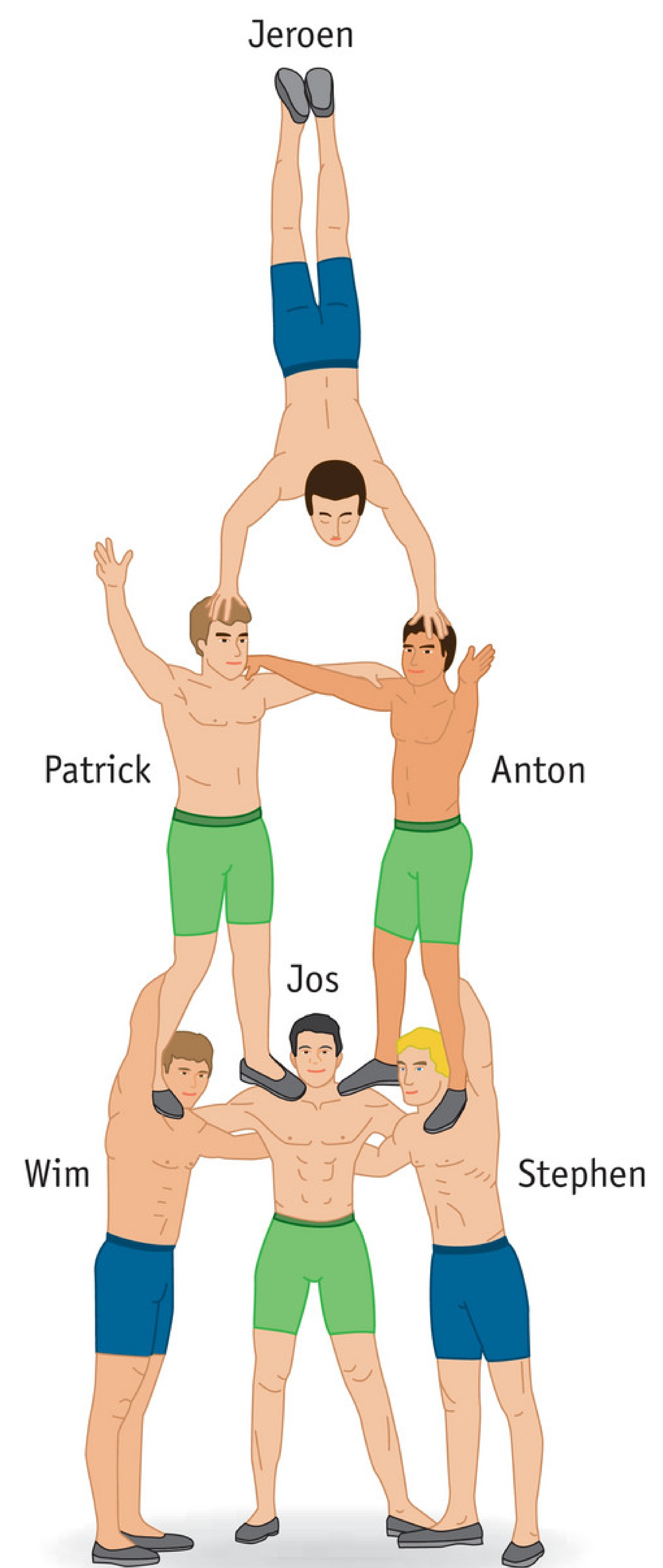
Zoek op internet een video waarop je atleten ziet kogelslingeren.

a Beschrijf hoe de kogel beweegt voordat de atleet het handvat loslaat.
b Beschrijf de beweging nadat de atleet het handvat heeft losgelaten.
c Verklaar het verschil tussen de bewegingen in opdracht a en b. Gebruik het begrip ‘middelpuntzoekende kracht’.

7

In het circus zijn zes acrobaten met een act bezig. Jeroen (70 kg) is perfect in evenwicht (figuur 11).

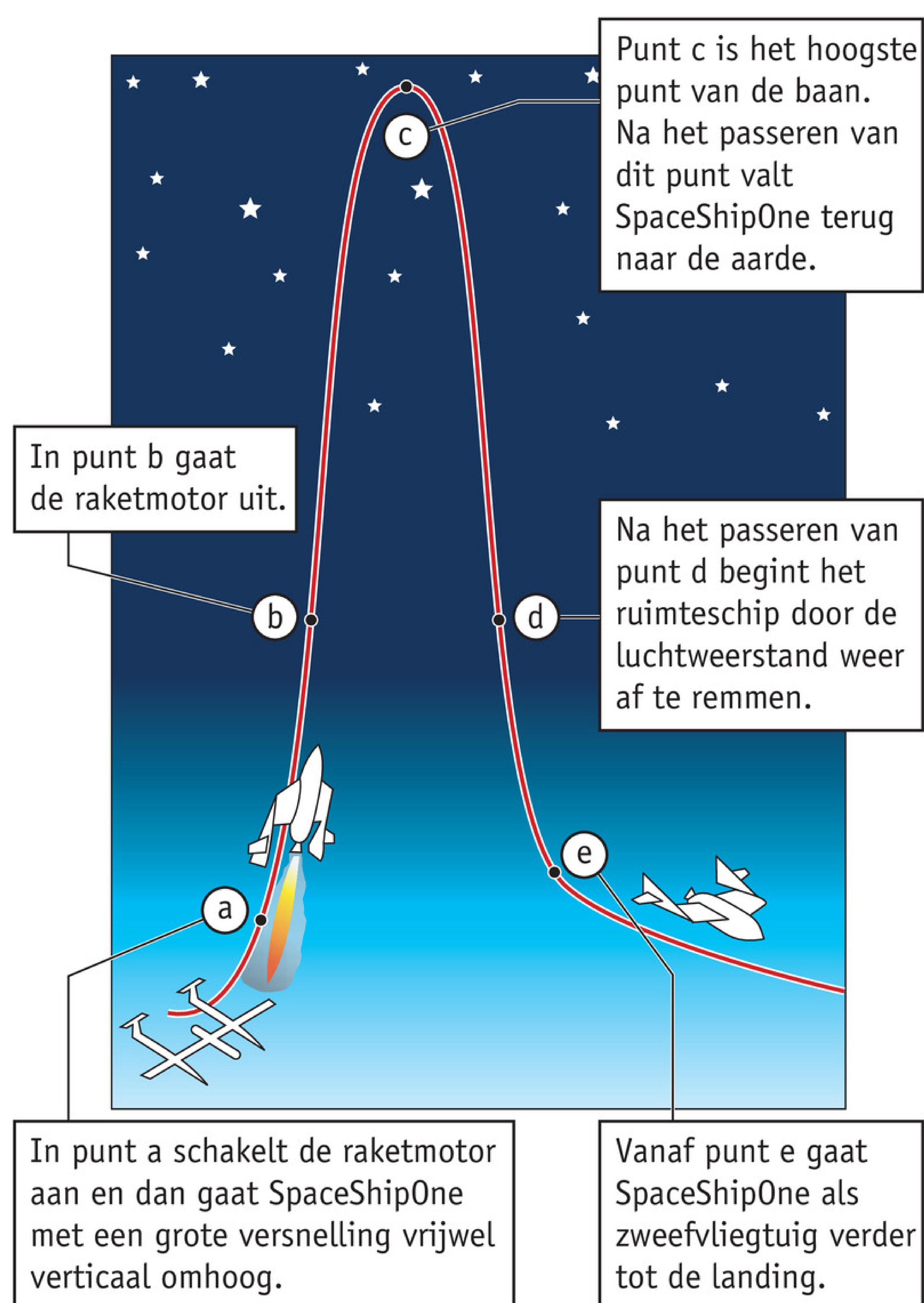
a Welke drie krachten werken er op zijn lichaam?
b Hoe noem je de kracht die Jeroen op Patricks hoofd uitoefent?
c Hoe groot is die kracht ongeveer? Leg uit hoe je dat beredeneert.
d Jeroen springt even later naar beneden met anderhalve salto.
Leg uit of daarbij:
- de zwaartekracht op zijn lichaam verandert.
- het gewicht van zijn lichaam verandert.



figuur 11 Een circusact.

8 Sinds 2004 bestaat de mogelijkheid om met het ruimteschip SpaceShipOne een paar minuten in de ruimte te verblijven. Een speciaal daarvoor gemaakt vliegtuig (de White Knight) brengt het ruimteschip SpaceShipOne naar een hoogte van ongeveer 15 km waar het ruimteschip wordt losgekoppeld. In figuur 12 is de vlucht daarna schematisch getekend. Er zijn vijf punten aangegeven: a, b, c, d en e.
Leg uit of de passagiers gewichtloosheid ervaren:

a tussen punt a en punt b;
b tussen punt b en punt c;
c tussen punt c en punt d;
d tussen punt d en punt e.



figuur 12 De vlucht van SpaceShipOne.

PLUS ELLIPSBAAN VAN EEN KOMEET

9 In figuur 13 zie je de komeet van figuur 8 op een ander punt van de baan.

a Leg uit waarom de zwaartekracht die op de komeet werkt op dit punt van de baan kleiner is dan in figuur 8.

b Teken in figuur 13 de component F_1 in de bewegingsrichting en de component F_2 loodrecht daarop.

c Leg uit welk effect elk van de componenten heeft op de beweging van de komeet.



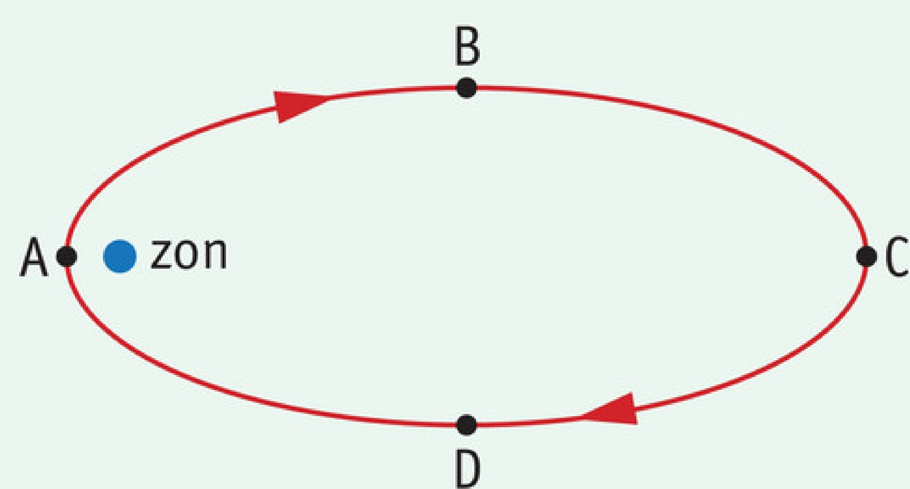
figuur 13 De komeet op een ander punt van de baan.

10 In figuur 14 zie je een komeet die in een wijde ellips om de zon draait. De zon staat in een van de twee brandpunten.

a Geef in figuur 14 aan op welke punten van de baan de zwaartekracht loodrecht staat op de bewegingsrichting van de komeet. Geef in die punten de richting van de snelheid en de richting van de zwaartekracht aan.

b Leg uit tussen welke punten de snelheid van de komeet afneemt.

c Leg uit op welke plaats de snelheid het grootst is en waar het kleinst.



figuur 14 De baan van een komeet rond de zon.

Practica

PROEF 1 EEN SPIRAALVEER UITREKKEN

30 minuten

Inleiding
Een spiraalveer rekt uit als je er gewichtjes aan hangt. De uitrekking is het aantal centimeter waarmee de lengte van de veer toeneemt. Als een veer zonder gewichtjes 12,0 cm lang is en met gewichtjes 15,8 cm, dan is de uitrekking 3,8 cm.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Wat is het verband tussen de kracht waarmee een veer wordt uitgerekt en de uitrekking?

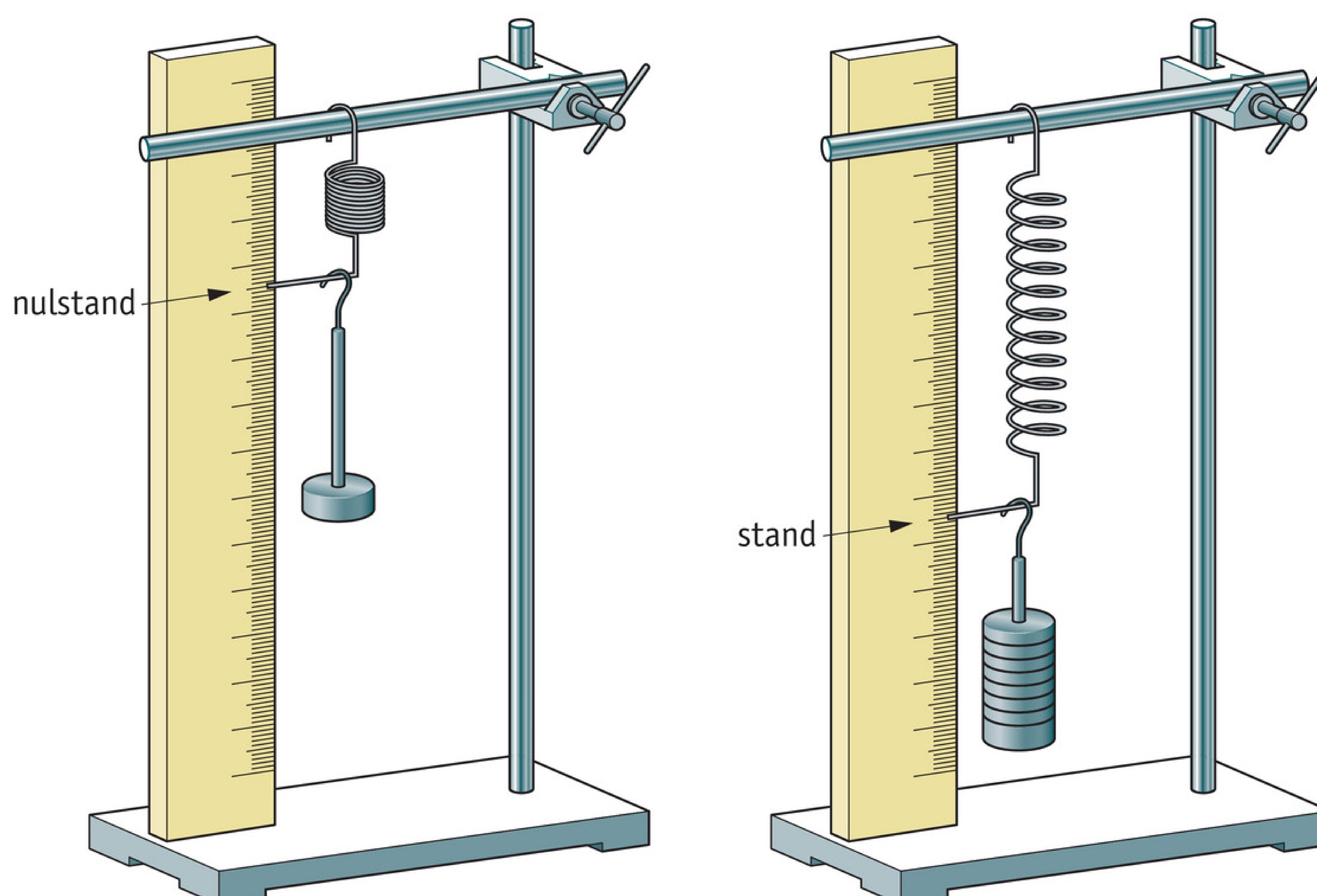
Nodig
- ☐ statiefmateriaal
- ☐ gewichtendrager
- ☐ gewichtjes
- ☐ spiraalveer
- ☐ liniaal

Uitvoeren en uitwerken
- Bouw de opstelling die in figuur 1 is getekend.
- Hang de gewichtendrager zonder gewichtjes aan de veer.
- Noteer de plaats van de onderkant van de gewichtendrager.

....

....

- Leg achtereenvolgens een, twee, drie, enzovoort, gewichtjes op de gewichtendrager.
- Bepaal steeds de bijbehorende uitrekking van de veer (= stand − nulstand).



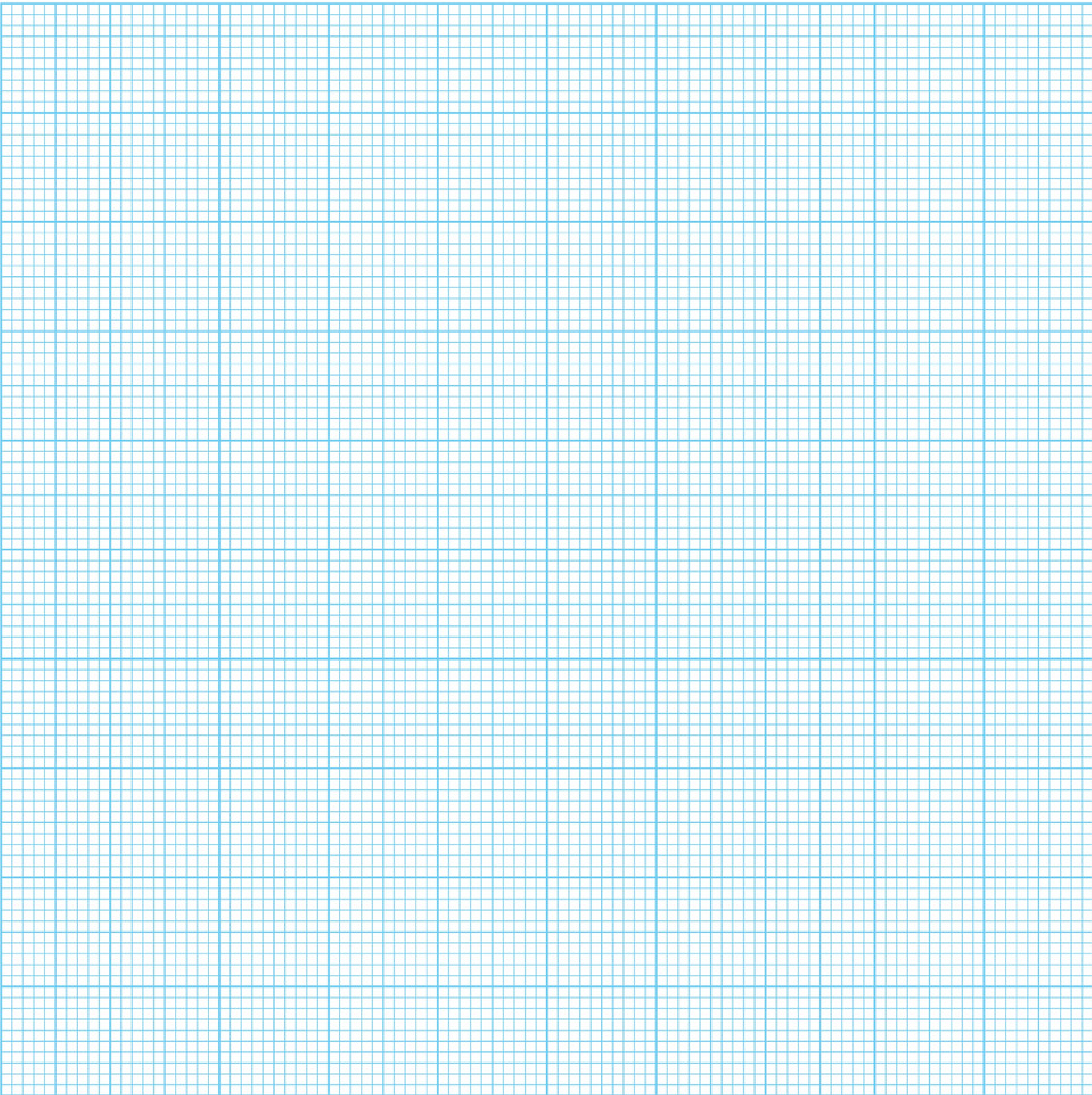
figuur 1 De opstelling van proef 1.

1 Noteer de massa van de gewichtjes, de kracht op de veer en de bijbehorende uitrekking in tabel 1.

tabel 1 De meetgegevens van proef 1.

aantal gewichtjes	massa gewichtjes (g)	kracht op de veer (N)	uitrekking (cm)
0	0	0	0
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

2 Zie de vaardigheid *Werken met tabellen en grafieken*.
Verwerk je meetresultaten tot een grafiek.



3 Zie de vaardigheid *Verbanden meten*.
Wat voor soort verband bestaat er tussen de kracht op een veer en de uitrekking?

....

....

....

De veerconstante *C* geeft aan hoe stug de veer is. Voor de veerconstante geldt: $C = \frac{F}{u}$

Als je *F* invult in newton (N) en *u* in meter (m), vind je *C* in N/m.

4 Bepaal met de grafiek de veerconstante van de veer. Noteer hoe je dat hebt gedaan.

....

....

....

....

....

5 Beantwoord de onderzoeksvraag.

....

....

....

....

Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

PROEF 2 EEN KRACHTMETER BOUWEN EN IJKEN

45 minuten

Inleiding

Stel je voor: een fabriek van meetinstrumenten brengt een nieuw model krachtmeter op de markt, waarmee je krachten nauwkeurig kunt meten. Er is al een spiraalveer voor de nieuwe meter gekozen. Aan jou de taak om het ontwerp af te maken met een nauwkeurige en goed af te lezen schaalverdeling.

Doel

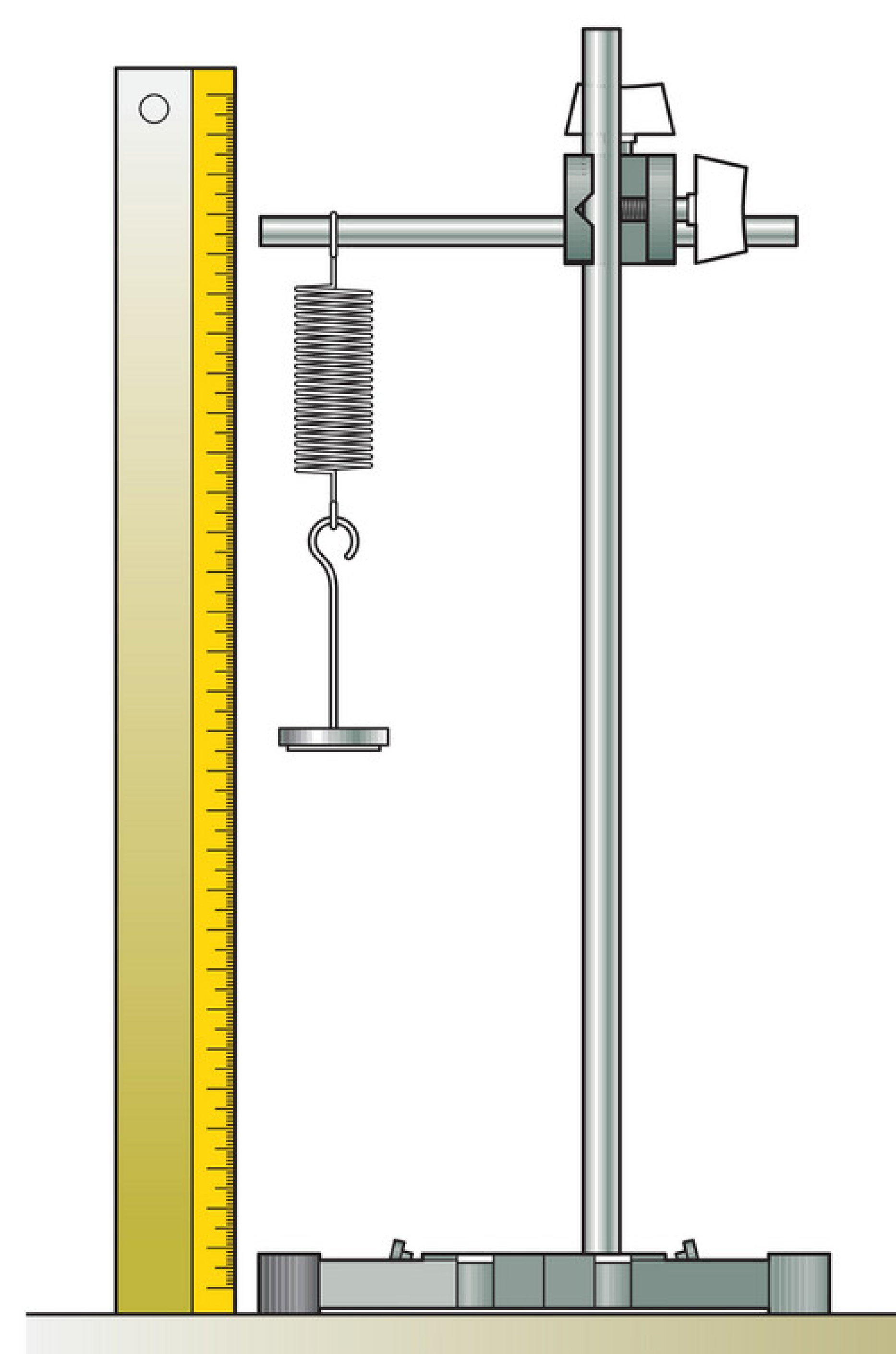
Je maakt een schaalverdeling die aan de onderstaande eisen voldoet.

Ontwerpeisen

- Het meetbereik van de krachtmeter is minstens 0-1 N.
- De afstand tussen de streepjes van de schaalverdeling is maximaal 0,1 N.
- De krachtmeter is op zijn minst even nauwkeurig als een ‘gewone’ krachtmeter.

Nodig

De basisopstelling is getekend in figuur 2. Je maakt zelf een lijst van wat je nodig hebt.



figuur 2 De opstelling van proef 2.

Uitvoeren en uitwerken

1 Leg uit hoe je de krachtmeter gaat ijken.

....

....

....

....

2 Noteer welke practicumspullen je nodig hebt.

....

....

....

....

....

- Laat de lijst met practicumspullen en je ijkmethode controleren door je docent.
- Bouw de krachtmeter en voorzie hem van een schaalverdeling. Test daarna of hij voldoet aan de ontwerpeisen.

3 Leg uit hoe je die test hebt uitgevoerd.

....

....

....

....

- Breng zo nodig verbeteringen aan.
- Maak zo nodig een nieuwe schaalverdeling.
- Laat de krachtmeter ten slotte beoordelen door je docent.

4 Als je een verslag moet maken van deze proef, zet daar dan in:
   a een foto van de opstelling met de geijkte schaalverdeling;
   b de manier waarop je de schaalverdeling hebt gemaakt;
   c de manier(en) waarop je de schaalverdeling hebt getest;
   d je conclusies: hoe nauwkeurig is de krachtmeter?

PROEF 3 EEN ONDERZOEK UITVOEREN – DE ROLWEERSTAND VAN EEN FIETS

45 minuten

Inleiding

Stel je voor: in een tijdschrift voor amateurwielrenners beweert een sportwetenschapper: “Veel amateurrenners realiseren zich niet hoe belangrijk een juiste bandenspanning is. Met hard opgepompte banden ga je gewoon sneller: een paar bar extra kan de rolweerstand met wel 20% naar beneden brengen. Bij een tijdrit in een wielerwedstrijd levert dat zomaar enige tientallen seconden tijdswinst op.”
Je vraagt je af of die sportwetenschapper gelijk heeft en gaat op onderzoek uit.

Doel

De onderzoeksvraag luidt:
Hoe hangt de rolweerstand van je fiets af van de druk in de fietsbanden?

Uitvoeren en uitwerken

- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ziet je proefopstelling eruit, wat ga je precies meten, hoe zorg je ervoor dat je metingen herhaalbaar en dus controleerbaar zijn?

1. Maak een werkplan voor dit onderzoek.
   - Bespreek met elkaar welke risico’s zich kunnen voordoen. Hoe kun je ervoor zorgen dat je deze proef veilig kunt uitvoeren?
   - De werkplannen worden besproken in de klas. Daarna kun je je werkplan verbeteren als dat nodig is.
   - Voer vervolgens het onderzoek uit.

2. Zie de vaardigheid *Een verslag schrijven*. Maak een verslag van deze proef waarin je de onderzoeksvraag beantwoordt.

Tips

- Bedenk eerst hoe je de invloed van de luchtweerstand op je metingen zo klein mogelijk kunt maken.
- Maak een grafiek waarin je de rolweerstand uitzet tegen de druk in de fietsbanden.

De krachten van Epke Zonderland

Het is zondag 14 april 2019. Op het Europees kampioenschap turnen in het Poolse Szczecin heeft de Rus Artur Dalaloyan zojuist een prachtige prestatie geleverd, die de jury beoordeelt met maar liefst 14,800 punten. Nu is Epke Zonderland aan de beurt. Om kampioen te worden moet hij risico's nemen.

Epke wordt naar de rekstok getild en krijgt een klein zetje, zodat hij naar voren zwaait en terug. In de volgende slinger tilt Epke zijn benen recht de lucht in, tot ver boven de rekstok. Nu zwaait hij met meer snelheid terug. Zijn benen gaan weer loodrecht de lucht in en nu zwaait Epke door tot een handstand op de rekstok.

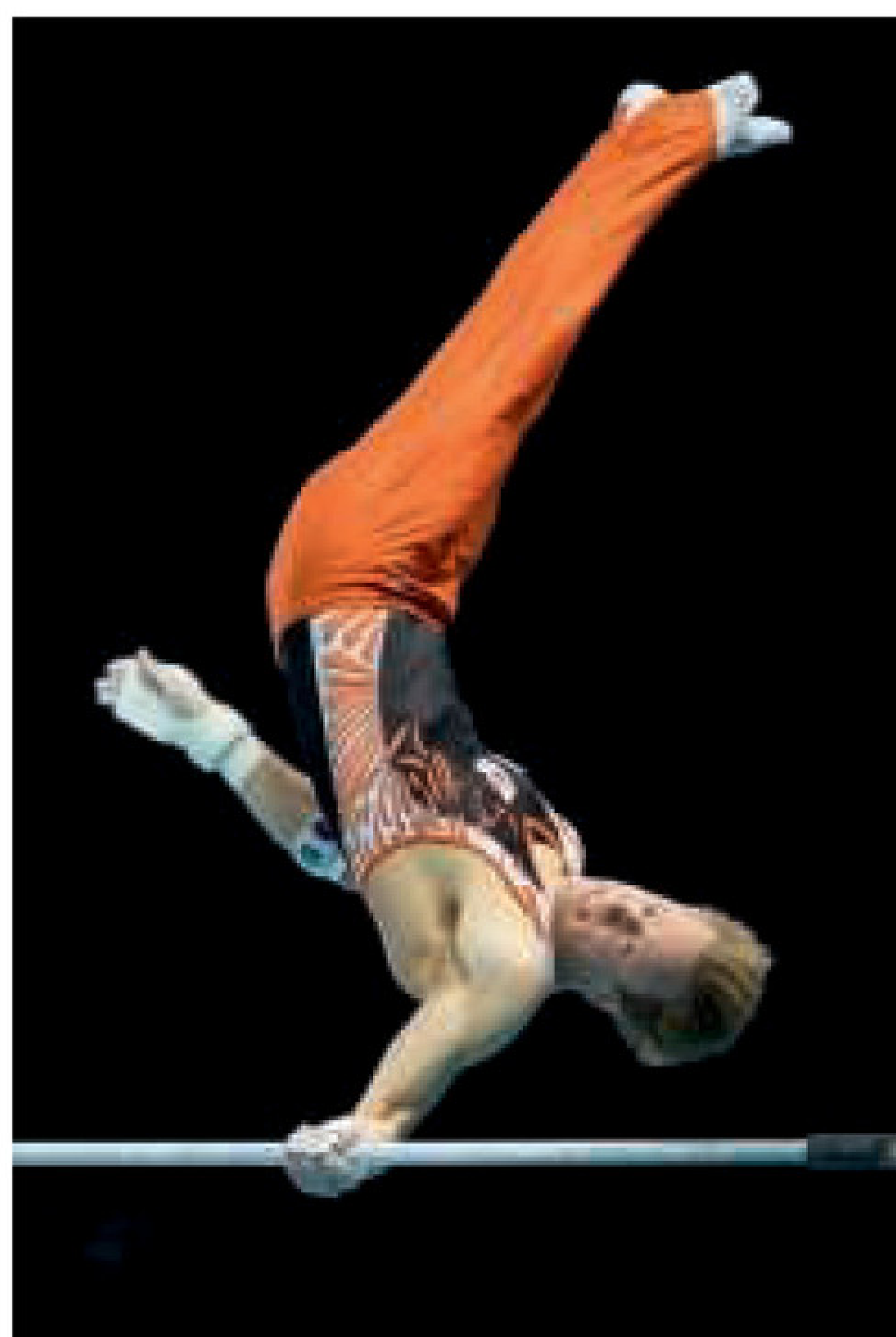
VLIEGSHOW

Epke laat enkele eenvoudige oefeningen zien, maar na twaalf seconden trekt hij hard aan de rekstok als hij naar boven zwaait. De rekstok gaat hierdoor zichtbaar trillen als een snaar van een gitaar. Met grote snelheid zwaait Epke nu naar beneden en als hij weer omhoogkomt, begint zijn vliegshow. Hij begint met een Cassina; tijdens zijn vrije val maakt hij een dubbele gestrekte salto met hele schroef. Daarvoor strekt hij zich eerst helemaal verticaal uit in de lucht, waarbij zijn voeten wel 40 centimeter boven de rekstok komen. Meteen in de volgende zwaai volgt dan een Kovacs, een dubbele hurksalto in de lucht.

Epke grijpt naar de rekstok, maar hij is nog niet klaar. Na twee rotaties laat *The Flying Dutchman* – zoals hij wordt genoemd – het spectaculairste deel van zijn vliegkunst zien. Hij maakt een combinatie van de Kolman (dubbele hurksalto met schroef) en ten slotte de Gaylord 2. Dat is een lastige gehoekte salto waarbij Epke de rekstok achterwaarts pakt. Daar zit een groot risico in. Het publiek juicht als ook deze oefening lukt. Ook de afsprong gaat perfect, Epke staat meteen als een huis op de dikke mat. En hij lacht, hij weet dat hij gaat winnen. De jury is overrompeld en geeft hem 15,266 punten, hoger dan zijn score bij de wereldkampioenschappen in 2018, toen hij ook goud won. Vandaag wordt Epke voor de derde keer Europees kampioen.

KRACHTEN METEN

Naast zijn drukke leven als topsporter studeerde Epke geneeskunde in Groningen. In 2018, twaalf jaar nadat hij begon, was hij klaar met zijn studie. Dokter Epke werkt één dag per week bij Sportgeneeskunde Friesland in Heerenveen. Als hij op een gegeven moment te oud is voor de rekstok, kan hij als sportarts zijn ervaringen goed gebruiken.



figuur 1 Epke neemt risico met de Gaylord 2.

Epke is zelf ook vaak bestudeerd door verschillende onderzoekers. Een van hen is Bert Otten, hoogleraar Neuromechanica bij het Centrum voor Bewegingswetenschappen van het Universitair Medisch Centrum in Groningen. Hij zoekt het antwoord op de vraag: hoe kan een mens als Epke doen wat hij doet? Een deel van die vraag kan worden beantwoord door een studie naar de krachten die een rol spelen bij de oefeningen aan de rekstok. Aan een rekstok worden oefeningen gedaan waarbij een turner rotaties met spierkracht opwekt. Ook kan een turner de reactiekracht van de rekstok besturen. Met kennis van natuurkunde kun je beter begrijpen wat er gebeurt.

Voor zijn onderzoek maakt Bert Otten gebruik van 3D-bewegingsregistratiesystemen, die bestaan uit meerdere infraroodcamera's. Op het lichaam van de turner worden reflecterende bolletjes aangebracht. Zo kun je tijdens een oefening de posities van de belangrijkste gewrichten in het lichaam bepalen. Bert Otten kan dan vaststellen wat de positie is van het zwaartepunt van de verschillende lichaamsdelen.

Bij belangrijke wedstrijden, zoals de Olympische Spelen, mag dit systeem echter niet worden gebruikt. In zulke gevallen maakt Bert Otten gebruik van videocamera's met hoge resolutie. Hij kan daarna de hogedefinitievideobeelden ijken aan de hand van de voorgeschreven maten van de rekstok. De internationale turnfederatie heeft bepaald dat de rekstok 240 cm lang is en een diameter heeft van 2,8 cm. De hoogte is 278 cm. Met die gegevens kan een computermodel de posities van de gewrichten van de turner berekenen. Met twee camera's op twee verschillende standpunten kun je zo zelfs een driedimensionaal beeld reconstrueren. Met behulp van deze informatie kun je snelheden, energie en krachten bepalen op alle tijdstippen van de oefening.



figuur 2 Twee beelden uit een bewegingsregistratie van een oefening van Epke Zonderland.

“Door metingen en met behulp van een model krijg je een beter zicht op het bijzondere van de bewegingen van grote talenten, zoals Epke Zonderland.”

MODEL VAN KRACHTEN
Epkes lichaamslengte en gewicht zijn bekend en worden aan het computermodel toegevoegd, zodat de krachten die worden berekend kloppen. Op deze manier kwam Bert Otten erachter dat de krachten die werken vanuit de handen van Epke erg groot kunnen zijn. Vlak voor de afsprong was er een piekkracht van 4000 newton, vergelijkbaar met het gewicht van een oude Fiat 500, zonder de banken.

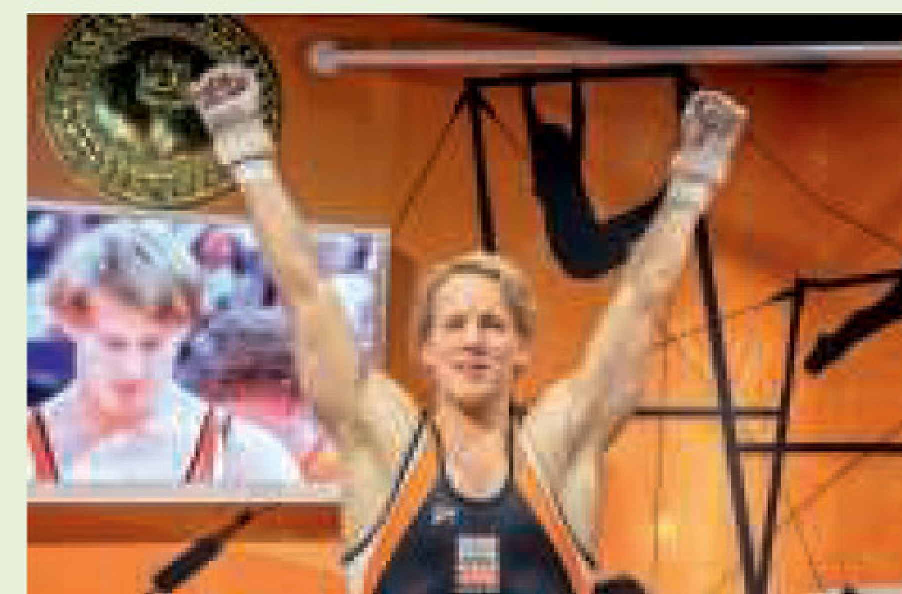
Dat wil niet zeggen dat Epke zo’n auto in zijn eentje kan optillen. Bij optillen worden spieren korter en volgens Bert Otten worden ze daardoor minder krachtig. Als spieren langer worden, zoals bij de oefening aan de rekstok, zijn ze juist sterker en dat is wat Epke gebruikt. Ook duurt de piekkracht maar 0,1 seconde. Biologisch weefsel kan goed tegen kortdurende belastingen, er ontstaat geen permanente schade. En als je Epke Zonderland bent, kun je dus zulke grote krachten leveren.

OEFENEN, DRIVE EN DISCIPLINE
De krachten die Bert Otten tijdens Epkes oefening meet zijn niet altijd zo extreem groot. Epke mag zijn spieren ook niet maximaal aanspannen, want dan is zijn zenuwstelsel niet in staat om krachten te regelen tijdens de oefening.
Als ‘motor’ zijn spieren overigens niet erg betrouwbaar, want ze worden moe en hebben dan steeds meer aansturing vanuit het zenuwstelsel nodig om hetzelfde te bereiken. De enige manier om dat probleem op te lossen is heel veel oefenen.

Epke vraagt zichzelf ook weleens af hoe het mogelijk is dat hij zulke bijzondere prestaties aan de rekstok verricht. Hij zegt: “Het kan niet zonder aanleg, discipline en leven als een topsporter. Je moet elke dag goed en veel trainen. Alleen dan kun je de beste worden. En je moet natuurlijk de drive hebben om kampioen te willen worden.” Zijn advies is: “Doe wat je leuk vindt en waar je heel goed in bent.”

Epke Zonderland

- geboren: 16 april 1986
- lengte: 1,73 m
- gewicht: 69 kg
- specialiteit: rekstok
- beste resultaten:
  olympisch goud in 2012
  wereldkampioen in 2018, 2014, 2013
  Europees kampioen in 2019, 2014, 2011

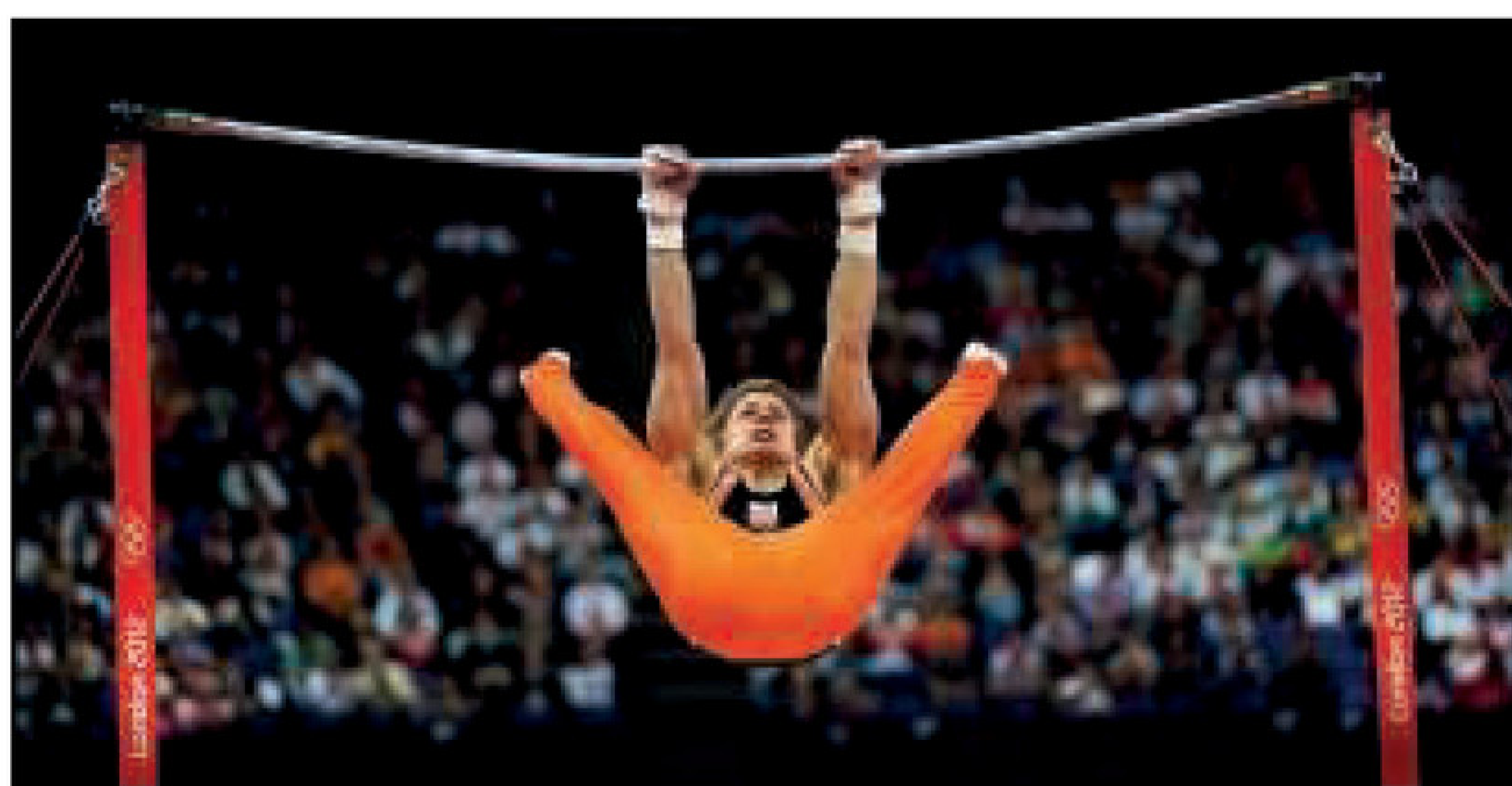

figuur 3 Epke Zonderland als wassen beeld bij Madame Tussauds in Amsterdam.

OPDRACHTEN

1 In een wetenschappelijk artikel over de krachten die optreden bij Epkes sport staat dat de rekstok zich moet gedragen als een veer, volgens de normen van de internationale turnfederatie.

a In figuur 4 zie je een momentopname van de oefening waarmee Epke Zonderland in 2012 olympisch kampioen werd.
Bereken de zwaartekracht die in figuur 4 werkt op Epke met behulp van de gegevens in figuur 3.

b Teken in figuur 4 de zwaartekracht en de veerkracht van de rekstok. Neem als krachtenschaal 1 cm ≙ 400 N.



figuur 4 Epke Zonderland tijdens de oefening waarmee hij in 2012 olympisch kampioen werd.

c Bepaal met behulp van figuur 4 en de gegevens over de rekstok hoe ver de rekstok in werkelijkheid naar beneden doorbuigt.

d Maak met behulp van je antwoord op opdracht a en c een schatting van de veerconstante van de rekstok.

2 Tijdens de laatste zwaai voordat hij gaat 'vliegen' geeft Epke een ruk aan de rekstok.

a Geef aan wat het voordeel is van de ruk die Epke aan de rekstok geeft.

b Wat is het gewicht van Epke net nadat hij de rekstok heeft losgelaten?

c Epke gebruikt aan zijn handen 'leertjes' voor de rekstok, zoals je ook in figuur 4 kunt zien. Bedenk zelf op welke krachten deze leertjes invloed kunnen hebben. Zoek het antwoord eventueel op internet op.

3 Zoek op internet naar een video van de rekstokoefening van Epke Zonderland tijdens de Baku World Cup in 2019.

a Meet de tijdsduur als Epke een hele rotatie maakt om de rekstok zonder dat hij daarbij speciale oefeningen laat zien. Doe dit van drie verschillende rotaties en bereken het gemiddelde.

b Als Epke languit aan de rekstok hangt, is de lengte van zijn handen tot zijn tenen gelijk aan 1,25× zijn lichaamslengte.
Bereken de omtrek van de cirkel die de tenen van Epke beschrijven tijdens een hele rotatie om de rekstok.

c Wat is de gemiddelde snelheid van de tenen van Epke tijdens de hele rotatie om de rekstok?

d Epke oefent tijdens zijn rotaties om de rekstok een kracht uit op de rekstok die werkt als middelpuntzoekende kracht. Deze kracht wordt beschreven door de formule:

$$F = \frac{m\,v^2}{r}$$

Bereken deze kracht. Gebruik daarbij de gemiddelde snelheid van de tenen van Epke tijdens de hele rotatie. (In het echt varieert de snelheid: die is groter dan gemiddeld als Epke onderlangs zwaait en kleiner als hij boven de rekstok langs draait.)

Leerstofoverzicht

2.1 SOORTEN KRACHTEN

ONTHOUD

- Als een kracht op een voorwerp wordt uitgeoefend, dan zal de beweging of de vorm van dat voorwerp veranderen. Deze vervorming kan elastisch of plastisch zijn.
- Spierkracht, veerkracht, zwaartekracht, magnetische kracht en spankracht zijn voorbeelden van krachten.
- Krachten kun je meten met een krachtmeter.
- Een kracht teken je als een pijl, met een beginpunt, een richting en een lengte.
- De zwaartekracht op een voorwerp bereken je met de formule $F_z = m \cdot g$, waarbij g op aarde een waarde heeft van afgerond 9,8 N/kg.
- Alle kleine zwaartekrachtjes die op een voorwerp werken, hebben hetzelfde effect als één grote zwaartekracht vanuit het zwaartepunt.

BEGRIPPEN

elastische vervorming
Vervorming waarbij de oorspronkelijke vorm weer terugkomt als de kracht ophoudt te werken.

kracht
Natuurkundig begrip dat duidelijk maakt hoe voorwerpen elkaars vorm en/of beweging veranderen.

krachtenschaal
Verhouding die je kiest om krachten te kunnen tekenen. Geeft aan hoe groot de kracht is die 1 cm van de krachtenpijl voorstelt.

krachtmeter
Instrument met een spiraalveer waarmee je krachten kunt meten.

magnetische kracht
Kracht die werkt tussen de twee polen van een magneet. Kan afstotend of aantrekkend zijn.

plastische vervorming
Vervorming waarbij het voorwerp blijvend wordt vervormd nadat er een kracht op is uitgeoefend.

spankracht
Kracht die in een touw ontstaat als er aan beide uiteinden wordt getrokken.

spierkracht
Kracht die ontstaat doordat de spieren in een lichaam zich samentrekken.

vector
Pijlvormige weergave van de grootte, de richting en het aangrijpingspunt van een kracht.

veerkracht
Kracht die ontstaat als je een veerkrachtig materiaal uitrekt of indrukt.

zwaartekracht
Kracht waarmee de aarde aan jou trekt en aan alle voorwerpen om je heen.

zwaartepunt
Een (denkbeeldig) punt waar je de zwaartekracht op een voorwerp kunt laten aangrijpen.

2.2 MEER DAN ÉÉN KRACHT

ONTHOUD

- Als de krachten die worden uitgeoefend op een voorwerp in rust of in evenwicht zijn, dan gebeurt er niets met het voorwerp.
- De veerconstante van een veer bereken je met de formule: $C = \frac{F}{u}$
- Als krachten langs dezelfde lijn liggen, kun je hun resultante berekenen door de krachten bij elkaar op te tellen: krachten in de ene richting als positieve getallen, krachten in de andere richting als negatieve getallen.
- Krachten die in verschillende richtingen werken, tel je op volgens de parallellogrammethode. Omdat krachten vectoren zijn, kun je ze niet als getallen bij elkaar optellen.

BEGRIPPEN

normaalkracht
Kracht die loodrecht vanuit het oppervlak van een voorwerp werkt. Bijvoorbeeld de kracht van een tafelblad op een fruitschaal.

nulstand
De lengte van een veer als die niet wordt uitgerekt.

parallellogrammethode
Manier om de resultante te vinden wanneer twee krachten een willekeurige hoek met elkaar maken.

recht evenredig
Twee variabelen zijn recht evenredig als ze naar verhouding evenveel toenemen of afnemen: wordt de ene variabele *n*× zo groot of zo klein, dan wordt de andere ook *n*× zo groot of zo klein.

resultante
De optelsom van alle krachten die op een voorwerp werken, waarbij je de krachten moet optellen als vectoren en niet als getallen.

uitrekking
De afstand waarmee de lengte van een veer toeneemt als er een kracht op wordt uitgeoefend.

veerconstante
Eigenschap van een veer die aangeeft hoe ver de veer uitrekt als er een kracht op wordt uitgeoefend.

2.3 VOORTSTUWEN EN TEGENWERKEN

ONTHOUD

- Er zijn drie weerstandkrachten die bewegingen tegenwerken: de luchtweerstandskracht, de schuifweerstandskracht en de rolweerstandskracht.
- De luchtweerstandskracht kun je verkleinen door het frontaal oppervlak te verkleinen. De rolweerstandskracht kun je verkleinen door de banden van je fiets hard op te pompen.
- De eerste wet van Newton zegt: als de resultante van alle krachten 0 N is, is het voorwerp in rust, of het beweegt met een constante snelheid langs een rechte lijn.
- Als de richting van de resultante gelijk is aan de bewegingsrichting, beweegt het voorwerp versneld.
- Als de richting van de resultante tegengesteld is aan de bewegingsrichting, beweegt het voorwerp vertraagd.
- Als de richting van de resultante loodrecht staat op de bewegingsrichting, verandert alleen de bewegingsrichting.
- Als de resultante een niet-loodrechte hoek maakt met de bewegingsrichting, verandert zowel de snelheid als de bewegingsrichting.

BEGRIPPEN

eerste wet van Newton
Een voorwerp waarop de resultante 0 N is, is in rust, of beweegt met een constante snelheid langs een rechte lijn.

frontaal oppervlak
Het oppervlak van een voorwerp of een persoon recht van voren gezien.

luchtweerstandskracht
Weerstandskracht die ontstaat doordat een bewegend voorwerp de lucht voor zich opzij moet duwen.

rolweerstandskracht
Weerstandskracht die ontstaat doordat een rollend voorwerp en de ondergrond tijdens de beweging beide vervormen.

schuifweerstandskracht
Weerstandskracht die ontstaat doordat twee oppervlakken langs elkaar bewegen, zoals bij een ski die over de sneeuw glijdt.

weerstandskracht
Kracht die weerstand biedt aan een beweging en de beweging daardoor tegenwerkt.

2.4 KRACHTEN IN HET HEELAL

ONTHOUD

- Er zijn acht planeten in ons zonnestelsel. De afstanden in het zonnestelsel zijn enorm groot. De planeten draaien ellipsvormige banen rond de zon, die bijna cirkelvormig zijn. De aarde draait in bijna 24 uur rond haar as en in een jaar rond de zon.
- Isaac Newton bedacht dat de zwaartekracht van de zon de oorzaak is van de ellipsvormige banen van de planeten rond de zon.
- Bij elke draaiende beweging is er een middelpuntzoekende kracht die een voorwerp laat afbuigen van de rechte baan.
- De kracht die je uitoefent op de ondergrond noem je het gewicht. Als je niet wordt tegengehouden door de ondergrond of een andere tegenwerkende kracht, dan maak je een vrije val. Tijdens een vrije val ben je gewichtloos.

BEGRIPPEN

brandpunten
Twee punten A en B die je nodig hebt om een ellips te kunnen tekenen. Voor alle punten P van de ellips geldt dat de som van de afstanden AP en BP steeds even groot is:
AP + BP = constant

gewicht
Kracht die een voorwerp uitoefent op de ondergrond waar het op staat, als gevolg van de zwaartekracht op het voorwerp.

gewichtloos
Toestand waarin een voorwerp geen gewicht ervaart, doordat het voorwerp nergens op steunt of aan ophangt.

middelpuntzoekende kracht
Kracht naar het middelpunt van een cirkelvormige of ellipsvormige beweging, waardoor het bewegende voorwerp voortdurend afbuigt en een baan volgt rond het middelpunt.

vrije val
Toestand waarin een voorwerp verkeert waar alleen de zwaartekracht op werkt. Een vrije val kan heel kort duren (als je ergens van af springt), maar kan ook eindeloos doorgaan (als je meereist met een ruimtestation in een baan rond de aarde).



Ga naar de *Flitskaarten* en de *Diagnostische toets*.

3 Energie

DUURZAME ENERGIEBRONNEN

Mensen willen comfortabel wonen. De energie die daarvoor nodig is, komt steeds vaker van duurzame energiebronnen zoals zonnepanelen. Tegelijk willen mensen hun energierekening laag houden. Dat is niet alleen goed voor het milieu, maar ook voor je portemonnee.





Wat weet je al over energie?

LEERDOELEN

1 Je kunt uitleggen wat de celsiusschaal en het meetbereik van een thermometer zijn.
2 Je kunt eenheden van energie omrekenen.
3 Je kunt uitleggen waarom lucht een warmte-isolator is.
4 Je kunt uitleggen waarom een apparaat met een groter vermogen meer elektrische energie verbruikt.
5 Je kunt berekeningen maken met het verband tussen vermogen, spanning en stroomsterkte.
6 Je kunt de elektrische energie berekenen die in een bepaalde tijd is omgezet.

In deel 1-2 van Nova nask en in hoofdstuk 1 van dit boek heb je al een aantal dingen over energie en warmte geleerd. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

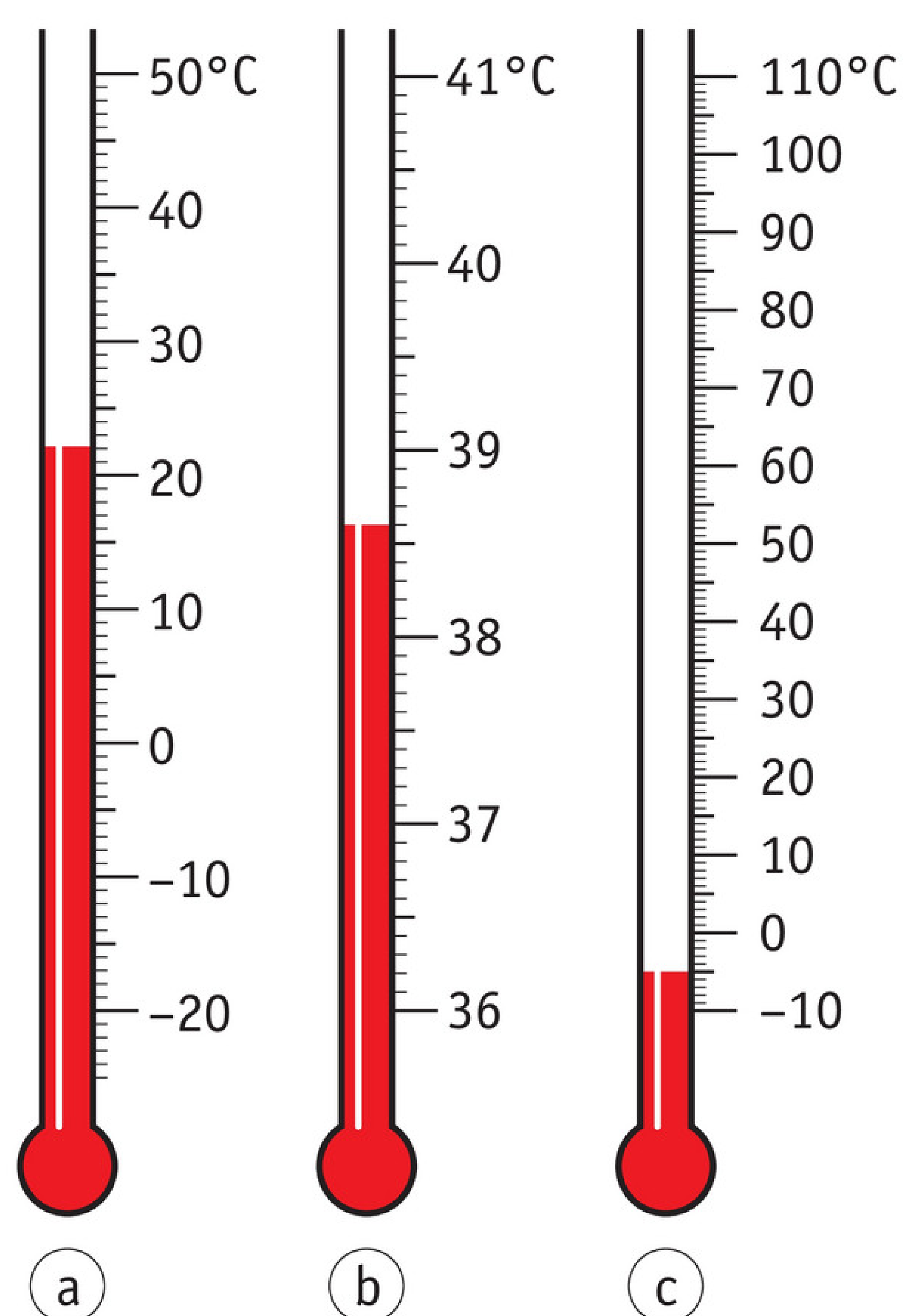
OPDRACHTEN VOORKENNIS

1 Bekijk figuur 1.
Noteer het meetbereik van iedere thermometer.

a ....

b ....

c ....



figuur 1 Drie thermometers.

2 Noteer de temperatuur die elke thermometer aangeeft.

a ....

b ....

c ....

3 Als je een schaalverdeling op een vloeistofthermometer wilt maken, dan neem je als nulpunt de temperatuur van .... Deze temperatuur is .... °C.

Voor het bovenste punt van de schaalverdeling neem je de temperatuur van .... Deze temperatuur is .... °C.

4 Reken om.

22 kW = ...$\cdot 10^4$ W

0,060 kW = ... W

17 MW = ...$\cdot 10^4$ kW

$3{,}25\cdot 10^7$ W = ... MW

5 Onderstreep de materialen die een goede warmte-isolator zijn.

aluminium – dons – hout – ijzer – koper – piepschuim

6 Je mixt met een blender een smoothie. Op dat moment gaat er door de blender een stroom van 2,17 A. De blender is via een stekker op een stopcontact aangesloten.
Bereken het vermogen van de blender.

....

....

....

7 Jeremy moet van zijn vader de woonkamer stofzuigen. Hij is hier 15 minuten mee bezig.
De stofzuiger heeft een vermogen van 600 W.
Bereken hoeveel energie (in kWh) de stofzuiger in die tijd heeft verbruikt.

....

....

....



Wil je weten of je voldoende voorkennis hebt voor dit hoofdstuk, maak dan online de *Voorkennistoets*. Daar vind je ook filmpjes over de belangrijkste leerdoelen voor dit hoofdstuk.

1 Energiebronnen

LEERDOELEN

3.1.1 Je kunt uitleggen wat een energiebron is.
3.1.2 Je kunt zes energiebronnen beschrijven.
3.1.3 Je kunt kenmerken van energiebronnen benoemen.
3.1.4 Je kunt de ideale energiebron beschrijven.
3.1.5 Je kunt vier kenmerken van de energietransitie benoemen.
PLUS 3.1.6 Je kunt berekeningen met snelheid en vermogen uitvoeren.

In Nederland is veel discussie over energiebronnen. De overheid wil het gebruik van aardgas sterk verminderen. Duurzame energiebronnen, zoals wind en zon, moeten een groter aandeel krijgen. Niet iedereen is het daarmee eens, want elke energiebron heeft behalve voordelen ook nadelen.

WAT IS EEN ENERGIEBRON?

Alles wat een bruikbare soort energie kan leveren, noem je een **energiebron**. Soms benut je die energie rechtstreeks, bijvoorbeeld wanneer je de zon je huis laat verwarmen. Maar meestal gebruik je een apparaat dat de energiesoort van de bron omzet in een andere soort energie:

- Een zonnecel zet de stralingsenergie van zonlicht om in elektrische energie.
- Een windmolen zet de bewegingsenergie van stromende lucht om in elektrische energie.
- Een gasfornuis zet de chemische energie van aardgas om in warmte.

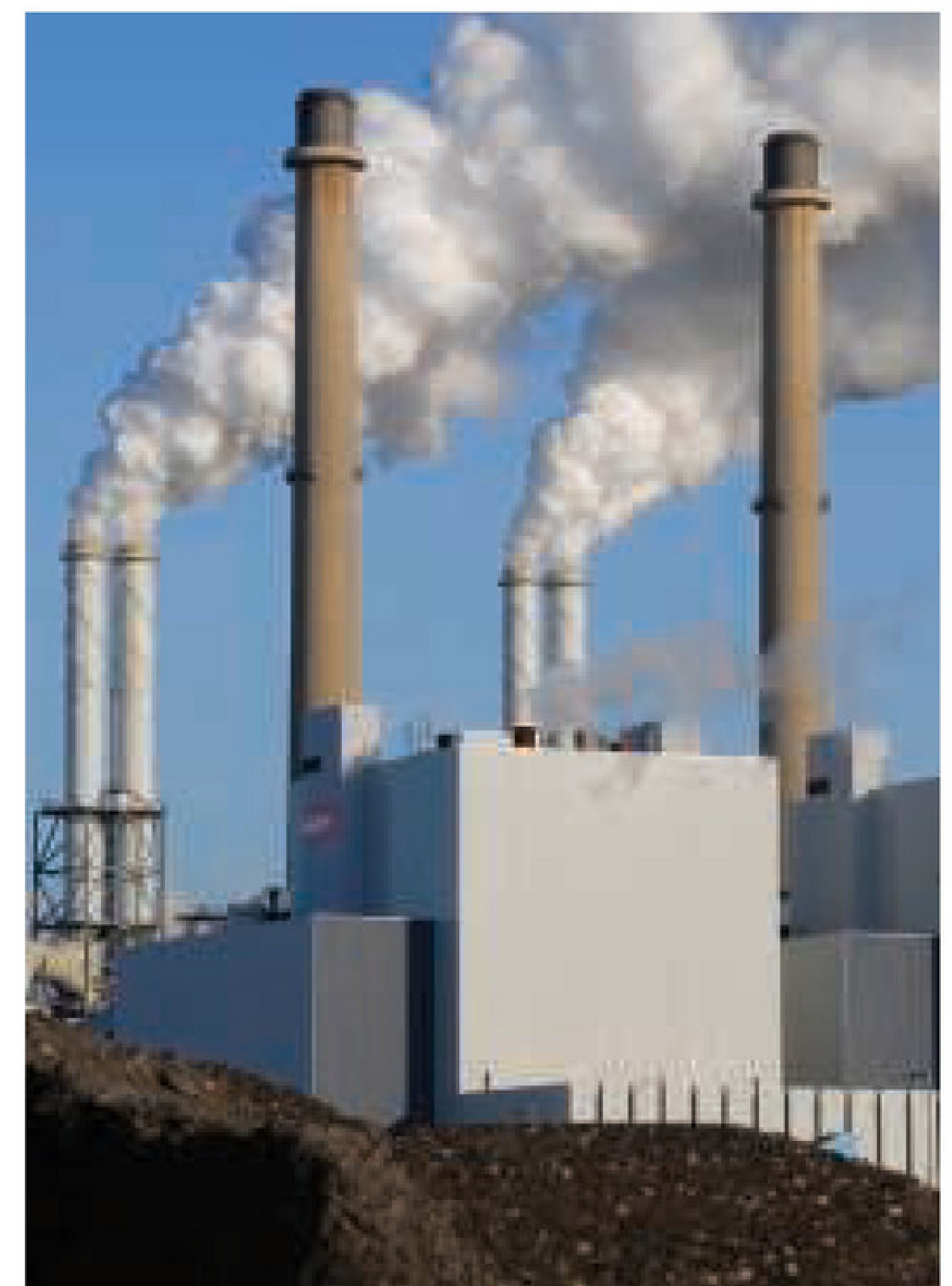
Zonlicht, wind en aardgas zijn dus voorbeelden van energiebronnen: het zijn leveranciers van een bruikbare soort energie.

ENERGIEBRONNEN

Hierna komen zes energiebronnen aan de orde die in Nederland worden gebruikt. Achter de energiebron staat steeds vermeld welk aandeel de energiebron in 2018 leverde aan het totale energiegebruik in Nederland (bron: www.cbs.nl).

Fossiele brandstoffen (91,4%)

Fossiele brandstoffen zoals aardolie, aardgas en steenkool leveren **chemische energie**. Aardolieproducten worden op grote schaal in het transport gebruikt. Aardgas wordt gebruikt voor het verwarmen van gebouwen en in elektriciteitscentrales. Steenkool wordt in Nederland in enkele elektriciteitscentrales gebruikt (figuur 1).



figuur 1 Een kolengestookte elektriciteitscentrale in de Eemshaven in Noord-Groningen.

Biomassa (4,5%)
Biomassa is materiaal dat van planten en dieren afkomstig is. Je kunt denken aan snoei- en afvalhout, plantenresten en mest, maar ook aan gewassen zoals koolzaad en maïs. Biomassa levert chemische energie. Sommige soorten biomassa kun je direct verbranden. Mest kun je in een biogasinstallatie vergisten. Hierbij ontstaat een gasvormig product: biogas. Biogas lijkt qua samenstelling sterk op aardgas. Je kunt het voor dezelfde doelen gebruiken.

Wind (1,7%)
Wind wordt steeds belangrijker als energiebron. Je ziet steeds meer grote windmolens in het landschap. De wieken van zo'n windmolen of **windturbine** drijven een generator aan die in de molen is ingebouwd. Op die manier wordt de **bewegingsenergie** van de wind omgezet in elektrische energie.

Kernsplijting (1,4%)
Sommige atoomkernen, zoals die van uranium, kun je splijten. Bij het splijten van zo'n atoomkern komt veel energie vrij in de vorm van warmte. In een kerncentrale wordt die warmte gebruikt om stoom te maken. De stoom spuit met grote snelheid tegen de schoepen van een turbine, die aan een generator is gekoppeld. Deze generator zet die bewegingsenergie om in elektrische energie.

Zon (0,6%)
De zon is een bron van **stralingsenergie**. Een **zonnecollector** zet de stralingsenergie van de zon om in warmte waarmee water wordt verhit (figuur 2). **Zonnecellen** zetten stralingsenergie om in elektrische energie. Steeds meer mensen laten panelen met zonnecellen op het dak van hun huis of schuur aanbrengen (figuur 3).

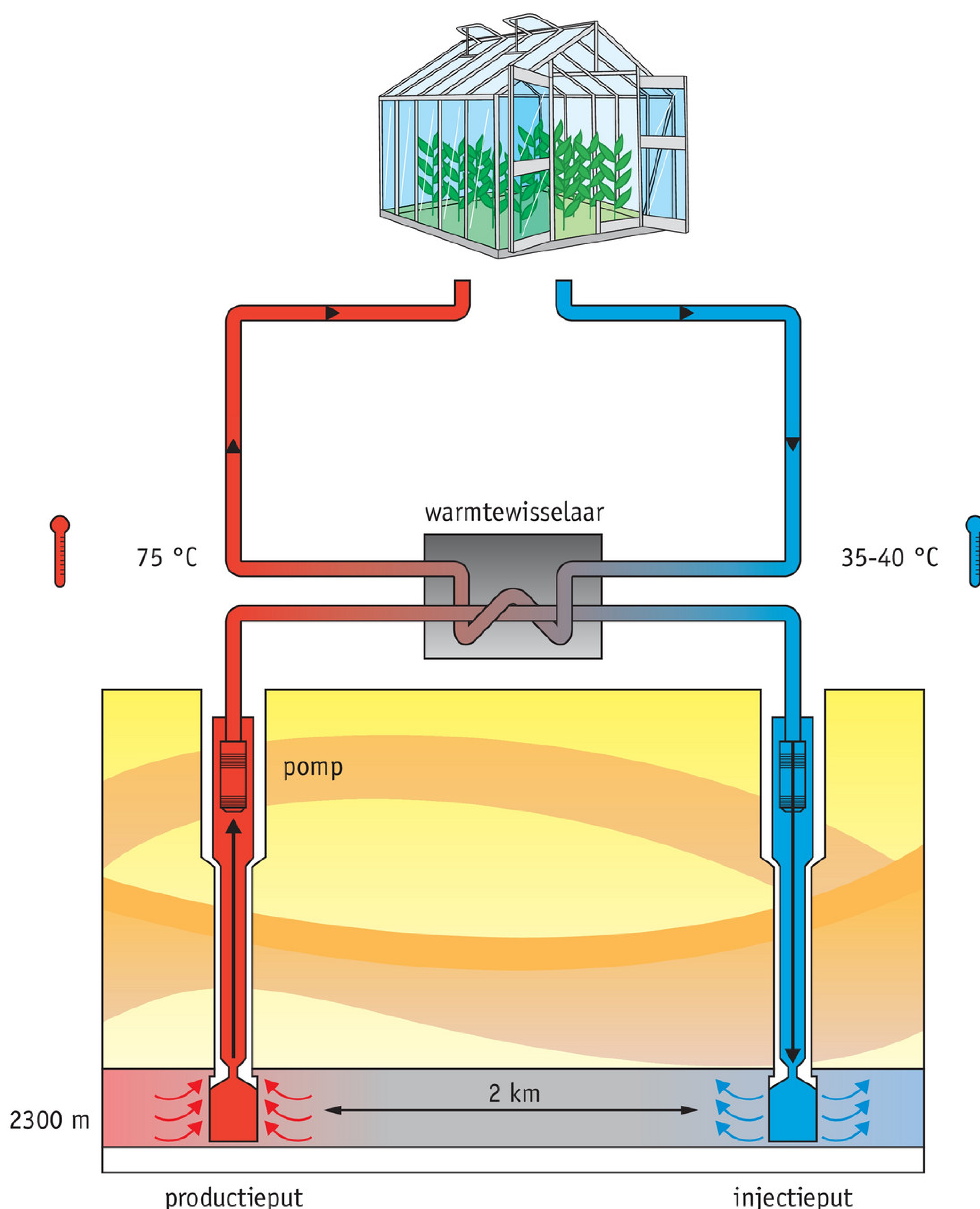


figuur 2 Zonnecollectoren leveren heet water.



figuur 3 Zo worden zonnepanelen gemonteerd.

Aardwarmte (0,2%)
Hoe dieper je in de aarde komt, des te hoger de temperatuur wordt. Het is mogelijk om warmte die uit diepe aardlagen afkomstig is naar het oppervlak te halen. Voor de winning van deze **aardwarmte** worden twee putten gebruikt (figuur 4). Via de eerste put wordt heet grondwater uit de diepte omhooggepompt. Dit grondwater kan vervuild zijn en zouten bevatten. Het hete grondwater wordt door een **warmtewisselaar** geleid, waar het een deel van zijn warmte aan koud water afgeeft. Daarna wordt het grondwater via de tweede put weer terug de bodem in gepompt.



figuur 4 Aardwarmte kun je onder andere gebruiken om kassen te verwarmen.

ENERGIETRANSITIE
De ideale energiebron is onuitputtelijk, altijd beschikbaar, milieuvriendelijk en goedkoop. Maar de ideale energiebron bestaat niet. Fossiele brandstoffen zijn niet onuitputtelijk. Wind en zon zijn niet altijd beschikbaar. En welke soort energiebron je ook gebruikt, nadelen voor het milieu en hoge kosten zijn er altijd.
Aardgas werd eerst gezien als een ideale energiebron, omdat bij de verbranding van aardgas alleen waterdamp en koolstofdioxide ontstaan. Koolstofdioxide is reukloos en niet giftig, en werd daarom als onschadelijk beschouwd. Pas later ontstond het besef dat koolstofdioxide een schadelijk broeikasgas is en een bedreiging voor het klimaat vormt. Nu worden vooral de nadelen van aardgas benadrukt. De Nederlandse regering wil zo snel mogelijk ‘van het gas af’ en overschakelen op andere, ‘klimaatneutrale’ energiebronnen.

Dit wordt de **energietransitie** genoemd. Er moet een nieuw energiesysteem komen met de volgende vier kenmerken:

Duurzame energiebronnen
Fossiele brandstoffen zijn bijna volledig vervangen door duurzame energiebronnen, zoals wind en zon. Energiecentrales zijn gesloten of draaien op biomassa en de meeste voertuigen rijden op elektromotoren. Huizen worden verwarmd door warmtepompen of met aardwarmte of restwarmte van de industrie.

Efficiënt energiemanagement
Het gebruik van energie is zoveel mogelijk beperkt. Gebouwen zijn goed geïsoleerd en apparaten zijn efficiënt, zoals ledlampen en energiezuinige stofzuigers en koelkasten. Mensen zijn zich ervan bewust dat ze zuinig moeten zijn met energie, bijvoorbeeld door minder lang te douchen en apparaten niet in de stand-bystand te laten staan.

Grootschalige energieopslag
Er zijn mogelijkheden om op een efficiënte manier grote hoeveelheden energie op te slaan. De energiebronnen wind en zon zijn immers lang niet altijd beschikbaar. Voorbeelden hiervan zijn opslag in grote accu's of in de vorm van waterstofgas.

Lokale productie van energie
De energievoorziening is meer lokaal geregeld (figuur 5). Energie wordt bijvoorbeeld opgewekt door zonnepanelen op daken van gebouwen en door kleine windturbineparken die zijn verspreid over het land. Grote energiecentrales zijn minder belangrijk.

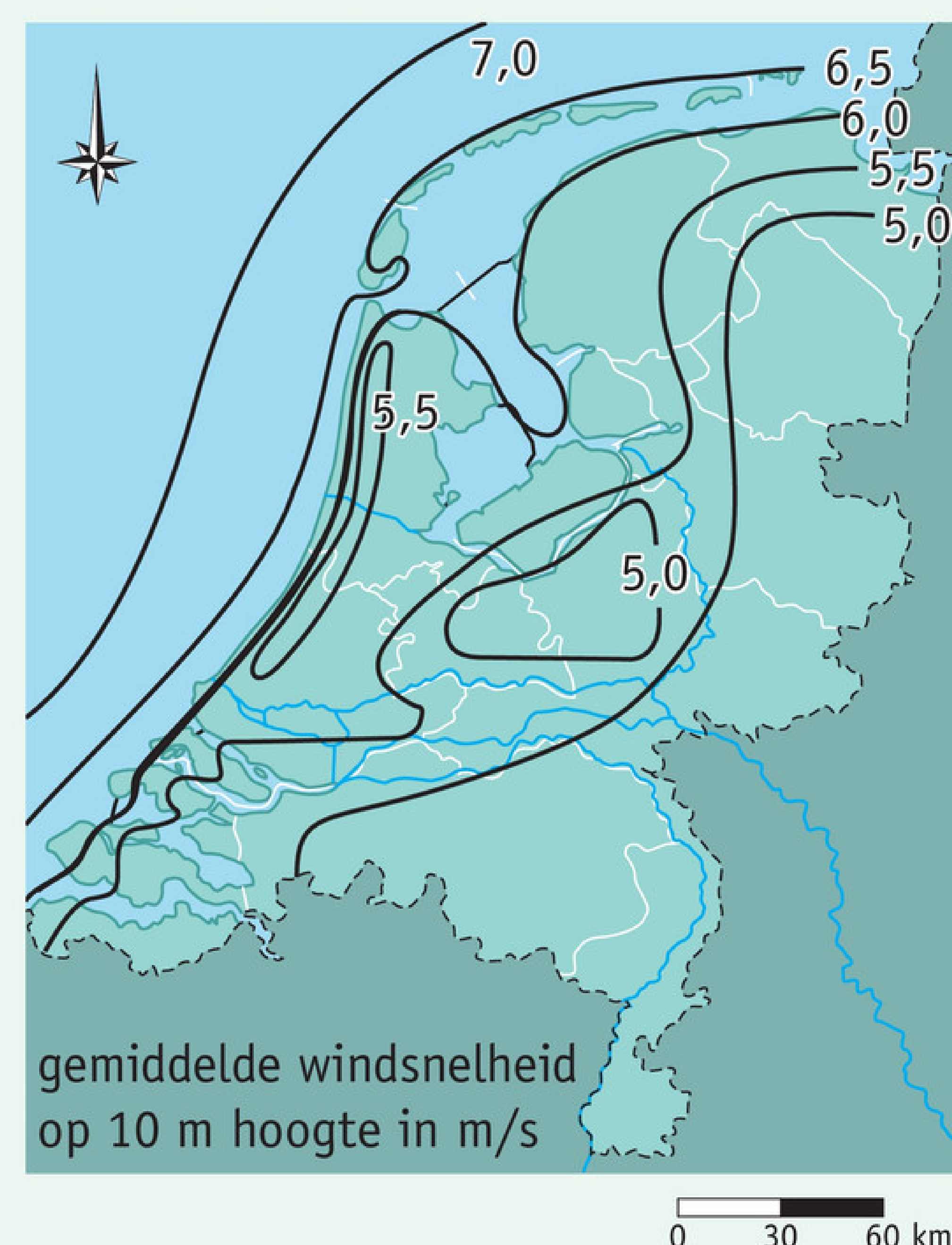


figuur 5 Dit zonnepark wekt elektrische energie op voor lokaal gebruik.

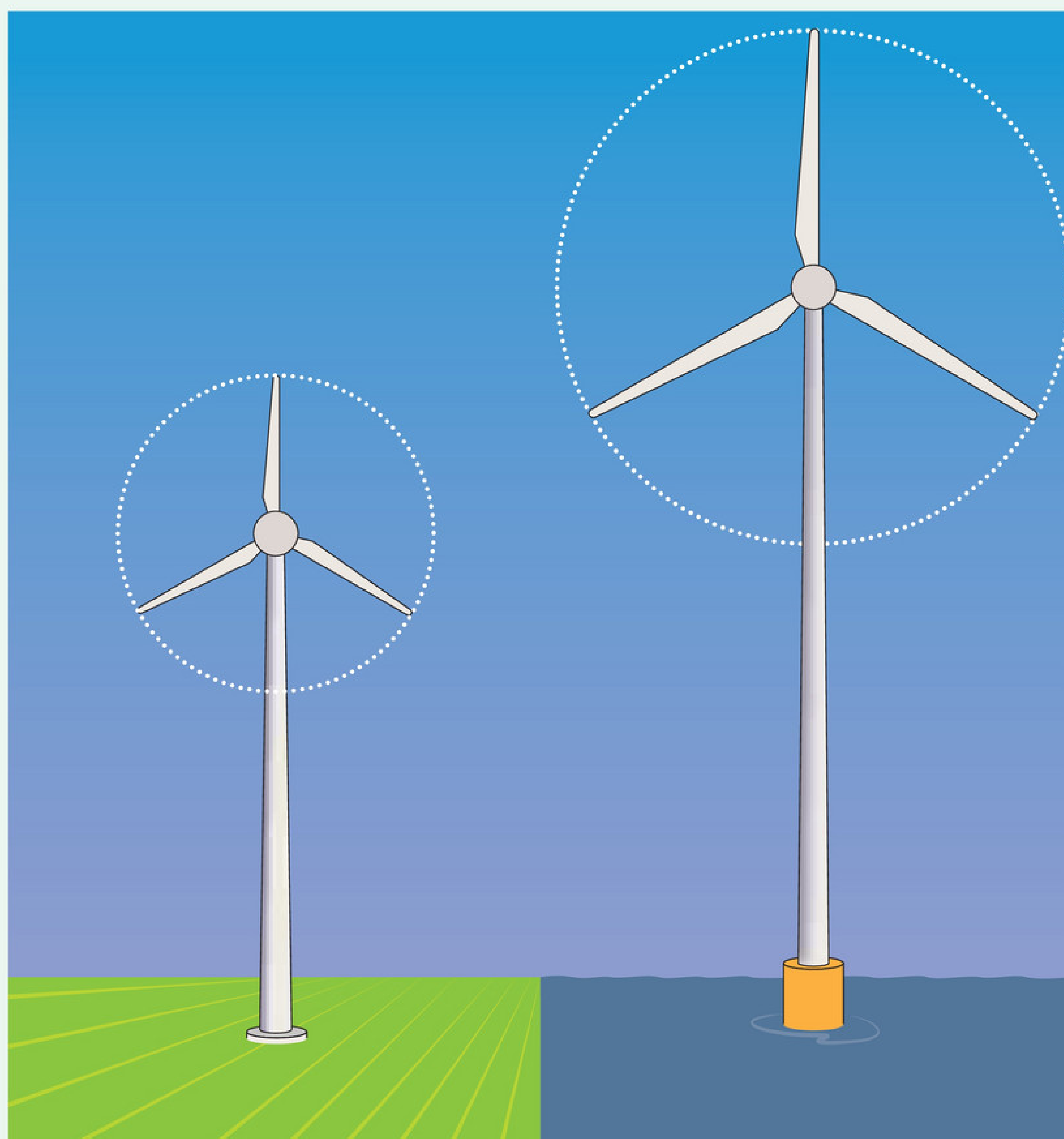
PLUS VERMOGEN VAN EEN WINDMOLEN

De gemiddelde windsnelheid in Nederland is behoorlijk groot, omdat ons land aan de Noordzee ligt. Dat maakt het geschikt om elektrische energie met windturbines op te wekken. In figuur 6 is de gemiddelde windsnelheid gegeven. De lijnen in deze figuur verbinden plaatsen met dezelfde gemiddelde windsnelheid.

In de Noordzee liggen in 2019 vier Nederlandse windmolenparken met een gezamenlijk vermogen van ongeveer 1000 MW. Dat is vergelijkbaar met de elektriciteitsbehoefte van drie miljoen huishoudens. Er zijn plannen om dat de komende jaren uit te breiden tot 4000 MW. Aan windmolens op zee worden andere eisen gesteld dan aan windmolens op land. Zo zijn windmolens op zee hoger en hebben ze grotere wieken (figuur 7).



figuur 6 Zo hard waait het gemiddeld in Nederland.



figuur 7 Een windmolen op land en een op zee.

Het vermogen van een windmolen, oftewel de hoeveelheid elektrische energie die per seconde wordt opgewekt, kun je als volgt berekenen:

$$P = k \cdot v^3$$

Hierin is:

- *P* het vermogen in W;
- *k* een constante die afhangt van onder andere de diameter van de wieken en de dichtheid van de lucht die erlangs stroomt;
- *v* de windsnelheid in m/s.

VOORBEELDOPDRACHT 1

In het windmolenpark Gemini, ten noorden van Ameland, staat een krachtige wind. Voor een windmolen in dat park geldt dat $k = 2{,}3 \cdot 10^3$. De windmolen wekt een vermogen op van 3,1 MW. Bereken de windsnelheid.

gegevens $k = 2{,}3 \cdot 10^3$
$P = 3{,}1 \text{ MW} = 3\,100\,000 \text{ W}$

gevraagd $v = ?$ m/s

$P = k \cdot v^3$

$v^3 = \frac{P}{k}$

$v = \sqrt[3]{\frac{P}{k}} = \sqrt[3]{\frac{3\,100\,000}{2300}} = 11{,}04\ldots$

uitwerking $v = 11$ m/s

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

- **a** Welke drie fossiele brandstoffen worden in Nederland veel gebruikt?
- **b** Welke energieomzetting vindt in een windturbine plaats?
- **c** Wat is het verschil tussen een zonnecollector en een zonnepaneel?
- **d** Welke kenmerken heeft de ideale energiebron?
- **e** Welke vier kenmerken zal het energiesysteem door de energietransitie krijgen?
- **f** Wat wordt bedoeld met ‘energie lokaal produceren’?

2 Vul de ontbrekende gegevens in.

tabel 1 Zes energiebronnen die in Nederland worden gebruikt.

energiebron	soort energie	energieomzetter
		cv-ketel
biomassa		
zon		
		warmtewisselaar
	bewegingsenergie	
	kernenergie	

TOEPASSING

3 Lees het krantenartikel in figuur 8.

a In het artikel staat dat de zonneoven het milieu spaart.
Leg uit wat er precies wordt 'gespaard'.

b In Afrika moeten mensen soms uren lopen om aan brandhout te komen. Dicht bij hun dorpen is geen hout meer te vinden.
Hoe zou dat komen?

c In het artikel worden verschillende voordelen van de zonneoven genoemd.
Bedenk zelf ook een nadeel van de zonneoven.

d De aluminium pan wordt in een plastic zak geplaatst die losjes dicht wordt geknoopt.
Waarom is het nodig een plastic zak om de pan te doen?

De Cookit

De Cookit is een eenvoudig zonnekooktoestel. Het is gemaakt van karton dat is bedekt met een laag aluminiumfolie. Het voedsel gaat in een 4 liter lichtgewicht aluminium pan, matzwart geverfd met schoolbordverf. In een hittebestendige plastic zak worden drie platte steentjes gelegd, waarop de pan wordt geplaatst. Zodoende is er circulatie van warmte rond de pan. De plastic zak wordt met een touwtje losjes dichtgebonden. Dit geheel wordt in de zon neergezet. Na twee á drie uur zijn de meeste gerechten klaar. De kwaliteit is uitstekend. De oven is goedkoop en spaart het milieu. Een gezin hoeft niet meer uren per dag hout te sprokkelen. Per zonnekooktoestel worden twintig bomen per jaar bespaard.



Bron: solarcookingkozon.nl

figuur 8 Zonne-energie voor Afrika.

★ 4 Door zonnepanelen langs snelwegen te plaatsen kan een groot aantal Nederlandse huishoudens van elektrische energie worden voorzien. Een gemiddeld huishouden in Nederland verbruikt 3500 kWh/jaar. Een zonnepaneel levert 80 kWh/m^2 per jaar.

a Bereken de oppervlakte van het zonnepaneel dat nodig is voor één huishouden.

b Nederland heeft 2360 km snelweg. Stel dat er langs alle snelwegen aan beide kanten zonnepanelen worden geplaatst met een hoogte van 4,0 m.
Bereken voor hoeveel huishoudens deze zonnepanelen elektrische energie kunnen leveren.

c Bedenk zelf drie mogelijke nadelen van dit plan.

5 Het aanbod van energie is niet constant en daarom is het handig om een voorraad energie aan te leggen.
Waar en in welke vorm wordt zo'n voorraad energie opgeslagen:

a door een oliemaatschappij die rekening houdt met een 'oliecrisis'?

b door een aardappelplant die in de zomer veel energie 'overhoudt'?

c door een beer die zich in de herfst voorbereidt op de komende winter?

6 In Nederland waait het regelmatig. In figuur 6 zijn gemiddelde windsnelheden gegeven. De lijnen in deze figuur verbinden plaatsen met dezelfde gemiddelde windsnelheid.

a Leg uit waarom de gemiddelde windsnelheid in het binnenland kleiner is dan in de kuststreek.

b Aan zee is de windsnelheid het hoogst.
Leg uit waarom er toch niet overal in de duinen windturbines worden geplaatst.

c Er worden tegenwoordig ook windturbines in de Noordzee geplaatst, 10 km of meer uit de kust.
Welke voordelen zou dat hebben? Noteer er twee.

d Bedenk zelf ook een nadeel van het plaatsen van windturbines in zee.

e Een nadeel van windenergie is dat het niet altijd waait.
Hoe zou je de door windmolens opgewekte energie kunnen opslaan om te gebruiken als het niet waait?

7 Beoordeel de energiebronnen in tabel 2 op duurzaamheid voor de verre toekomst, rond-de-klokbeschikbaarheid en milieuvriendelijkheid: + is goed, o is redelijk, − is slecht.

tabel 2 Zes energiebronnen en hun eigenschappen.

energiebron	duurzaamheid	beschikbaarheid	milieuvriendelijkheid
aardolie			
biomassa			
zon			
aardwarmte			
wind			
kernsplijting			

8 Waterstof is een brandbaar gas dat geschikt is als brandstof voor industrie en vervoer. Je kunt dit gas maken door water met behulp van elektriciteit te splitsen in waterstof en zuurstof.

a Welke energieomzetting vindt er bij dit productieproces plaats?

b Leg uit hoe je waterstof op een duurzame manier kunt produceren.

c Leg uit hoe waterstof kan helpen bij het maken van de energietransitie.

9 Zoek op internet meer informatie over een van de volgende energiebronnen: aardgas, aardwarmte, biomassa, getijden, steenkool, wind, zon.
Beschrijf in een werkstuk van maximaal twee A4'tjes:

- op welke manier(en) de energiebron kan worden benut;
- welke voordelen de energiebron heeft;
- welke nadelen en beperkingen de energiebron heeft.

PLUS VERMOGEN VAN EEN WINDMOLEN

10 In figuur 7 is de constante van de windmolen op land $k = 8{,}8 \cdot 10^2$ en van de windmolen in zee $k = 2{,}3 \cdot 10^3$.

a Bepaal met behulp van figuur 6 het vermogen dat een windmolen op de Maasvlakte (aan de kust bij Rotterdam) levert, als je uitgaat van de gemiddelde windsnelheid daar.

b De windmolen op land kan een vermogen tot 2,75 MW leveren.
Bereken de windsnelheid die nodig is om dit vermogen te halen.

c De windsnelheid die je bij opdracht b vond, is veel groter dan de gemiddelde windsnelheid. Blijkbaar vonden de ontwerpers het belangrijk dat de windmolen ook bij deze snelheid nog goed werkt. Pas bij een nog grotere windsnelheid wordt de windmolen stilgezet, omdat hij anders stukgaat.
Leg uit waarom het belangrijk is dat de windmolen goed werkt bij windsnelheden die groter zijn dan gemiddeld.

11 **a** Anke en Dijar vragen zich af waardoor het komt dat bij windmolens op land en in zee de *k*-waarde verschilt. Ze vergelijken daarvoor een windmolen op land ($k = 8{,}8 \cdot 10^2$) met een windmolen in zee ($k = 2{,}3 \cdot 10^3$).
Bereken met welke factor de *k*-waarde van de windmolen op zee groter is dan die op land.

b Dijar en Anke formuleren ieder een hypothese:
Anke denkt dat *k* recht evenredig is met de diameter van een windmolen.
Dijar denkt dat *k* recht evenredig is met de oppervlakte van de cirkel die de wieken beslaan.
Onderzoek aan de hand van figuur 7 welke van de twee hypotheses beter past.
Tip om Dijars hypothese te onderzoeken: bereken eerst de oppervlakte van de cirkel voor beide windmolens en kijk hoeveel keer zo groot de cirkel van de windmolen op zee is.

2 Verwarmen

LEERDOELEN

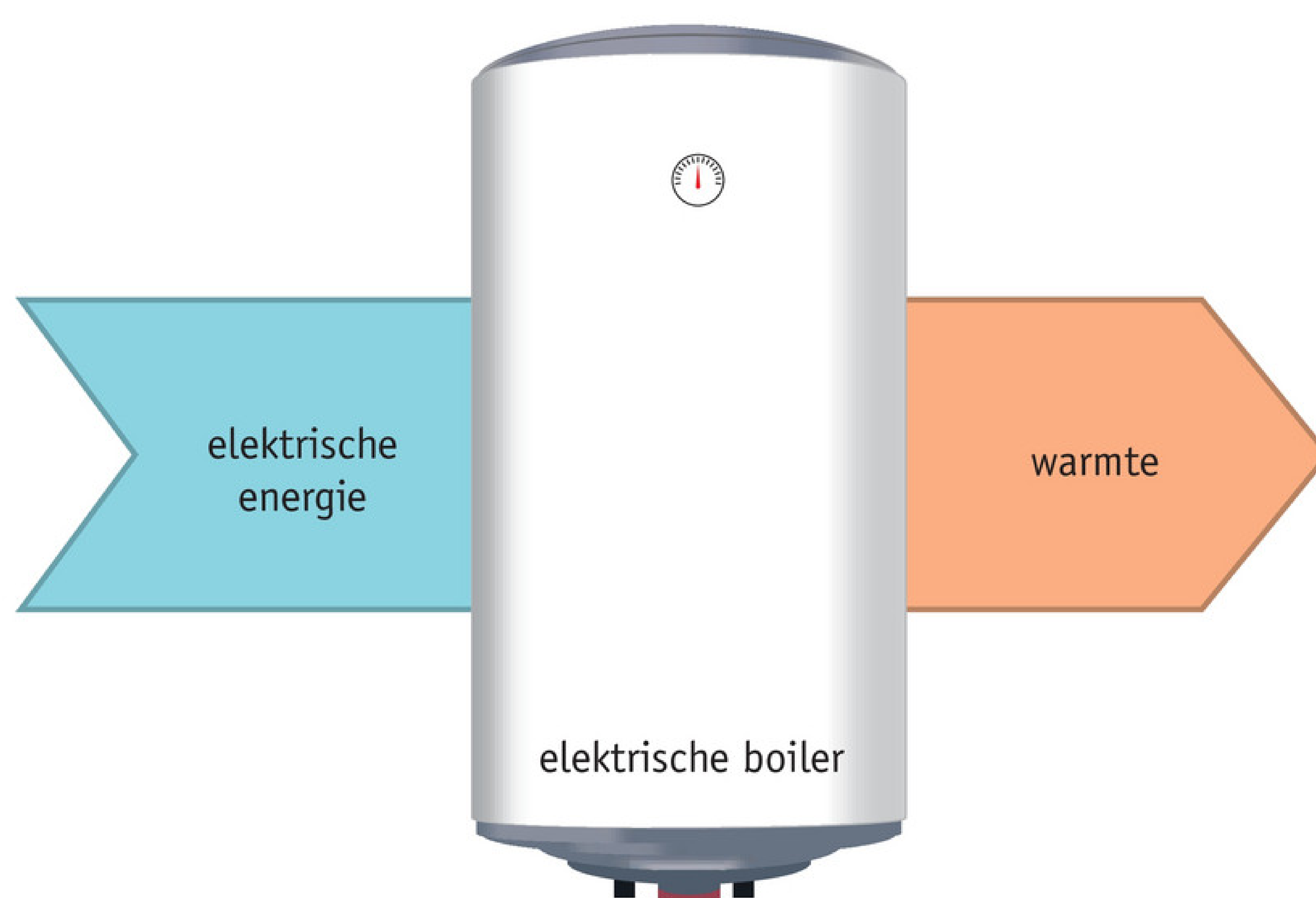
3.2.1 Je kunt uitleggen dat bij energieomzettingen de kwantiteit (hoeveelheid energie) niet verandert, maar de kwaliteit (bruikbaarheid) wel.
3.2.2 Je kunt energieomzettingen weergeven in een energiestroomdiagram, rekening houdend met de wet van behoud van energie.
3.2.3 Je kunt uitleggen dat er toevoer van warmte nodig is om de temperatuur van een stof te laten stijgen.
3.2.4 Je kunt berekenen hoeveel energie nodig is om een stof in temperatuur te laten stijgen door de soortelijke warmte te gebruiken.
PLUS 3.2.5 Je kunt het deeltjesmodel gebruiken bij het verklaren en analyseren van verdamping en condensatie.

Mensen hebben warmte nodig om hun huis te verwarmen, water heet te maken en voedsel te bereiden. Daarvoor gebruiken ze warmtebronnen, zoals cv-ketels, ovens, boilers en kokendwaterkranen. Veel van die warmtebronnen werken op elektrische energie. Andere maken gebruik van de chemische energie in aardgas.

WARMTEBRONNEN

Als je in huis rondkijkt, kom je daar verschillende **warmtebronnen** tegen. Een cv-ketel of warmtepomp levert de warmte waarmee het huis wordt verwarmd. Andere warmtebronnen zijn een kookplaat, een oven, een waterkoker, een soldeerapparaat, een föhn en een wasdroger.

In een elektrische boiler zit een verwarmingselement. Door het verwarmingselement loopt een elektrische stroom die ervoor zorgt dat het verwarmingselement warm wordt. Daarbij wordt **elektrische energie** omgezet in **warmte**. Zo'n **energieomzetting** kun je weergeven in een **energiestroomdiagram** (figuur 1). De pijl links stelt de energie voor die de warmtebron opneemt (verbruikt). De pijl rechts stelt de energie voor die de warmtebron afstaat (levert).



figuur 1 Het energiestroomdiagram van een elektrische boiler.

Natuurkundigen hebben ontdekt dat de **kwantiteit** (hoeveelheid) energie bij een energieomzetting niet verandert. Bepaalde soorten energie verdwijnen, andere soorten energie komen daarvoor in de plaats, maar de totale hoeveelheid energie blijft steeds even groot. Dit noem je de **wet van behoud van energie**. Daarom zijn de pijlen in een energiestroomdiagram links en rechts even hoog. Dat geeft aan dat er in totaal niets bijkomt en niets afgaat.

Wat wel verandert, is de **kwaliteit** van de energie. Elektrische energie is een hoogwaardige, geconcentreerde vorm van energie, waarmee je van alles kunt doen. Warmte is dat niet, omdat deze vorm van energie zich als vanzelf over de omgeving verspreidt. Daardoor neemt de kwaliteit van de energie af: de energie is er nog wel, maar je kunt er niets meer mee. Als mensen het over een dreigend tekort aan energie hebben, bedoelen ze een tekort aan geconcentreerde energie met hoge kwaliteit.

WARMTE EN TEMPERATUUR

De meeste warmtebronnen die je thuis tegenkomt werken op elektrische energie. Denk aan een waterkoker waarmee je water aan de kook brengt voor een kop thee (figuur 2). De elektrische energie die zo'n warmtebron verbruikt, wordt helemaal omgezet in warmte: voor elke joule verbruikte elektrische energie krijg je één joule warmte terug.



figuur 2 Water verwarmen voor een kop thee.

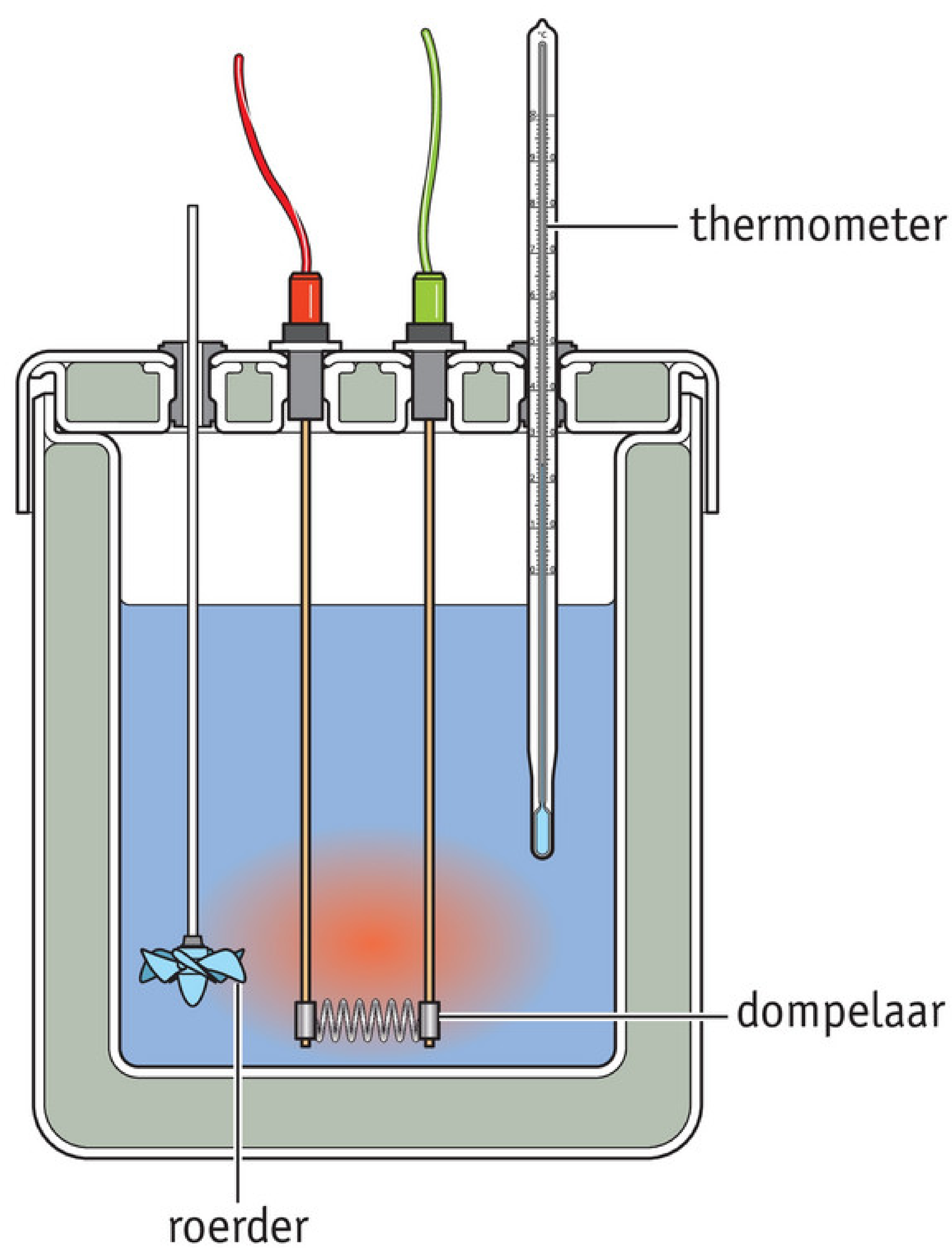
Als je water in een waterkoker verwarmt, stijgt de temperatuur van het water in enkele minuten van circa 20 °C naar 100 °C. Dat de temperatuur stijgt, betekent dat de gemiddelde snelheid van de watermoleculen toeneemt. De temperatuur is dus een maat voor de gemiddelde snelheid van de moleculen van een stof. De warmte die het water opneemt wordt gebruikt om de watermoleculen sneller te laten bewegen. De watermoleculen hebben dan meer bewegingsenergie.

Als het water een temperatuur van 100 °C bereikt, begint het te koken. De warmte die het water opneemt, wordt dan gebruikt om de moleculen bij elkaar vandaan te laten bewegen. Daardoor ontstaan er overal in de vloeistof bellen met waterdamp. De temperatuur van het water stijgt dan niet meer en blijft 100 °C. De waterkoker schakelt zichzelf dan automatisch uit.

Hoe meer water je in een waterkoker doet, hoe langer het duurt voordat het water kookt. Dat komt doordat er dan meer watermoleculen zijn waarvan de gemiddelde snelheid moet worden verhoogd. Er is dus meer warmte (energie) nodig en dat betekent dat de waterkoker – die een constant vermogen heeft – langer aan het verwarmen is.

PROEVEN MET EEN WARMTEMETER

Met een **warmtemeter** kun je meten hoeveel warmte nodig is voor het verwarmen van een bepaalde hoeveelheid water. In figuur 3 zie je zo'n meter in dwarsdoorsnede. Het water in het bakje wordt verwarmd met een dompelaar: een verwarmingselement dat elektrische energie omzet in warmte. Omdat het bakje goed is geïsoleerd, wordt vrijwel alle geproduceerde warmte door het water opgenomen.



figuur 3 Een warmtemeter in doorsnede.

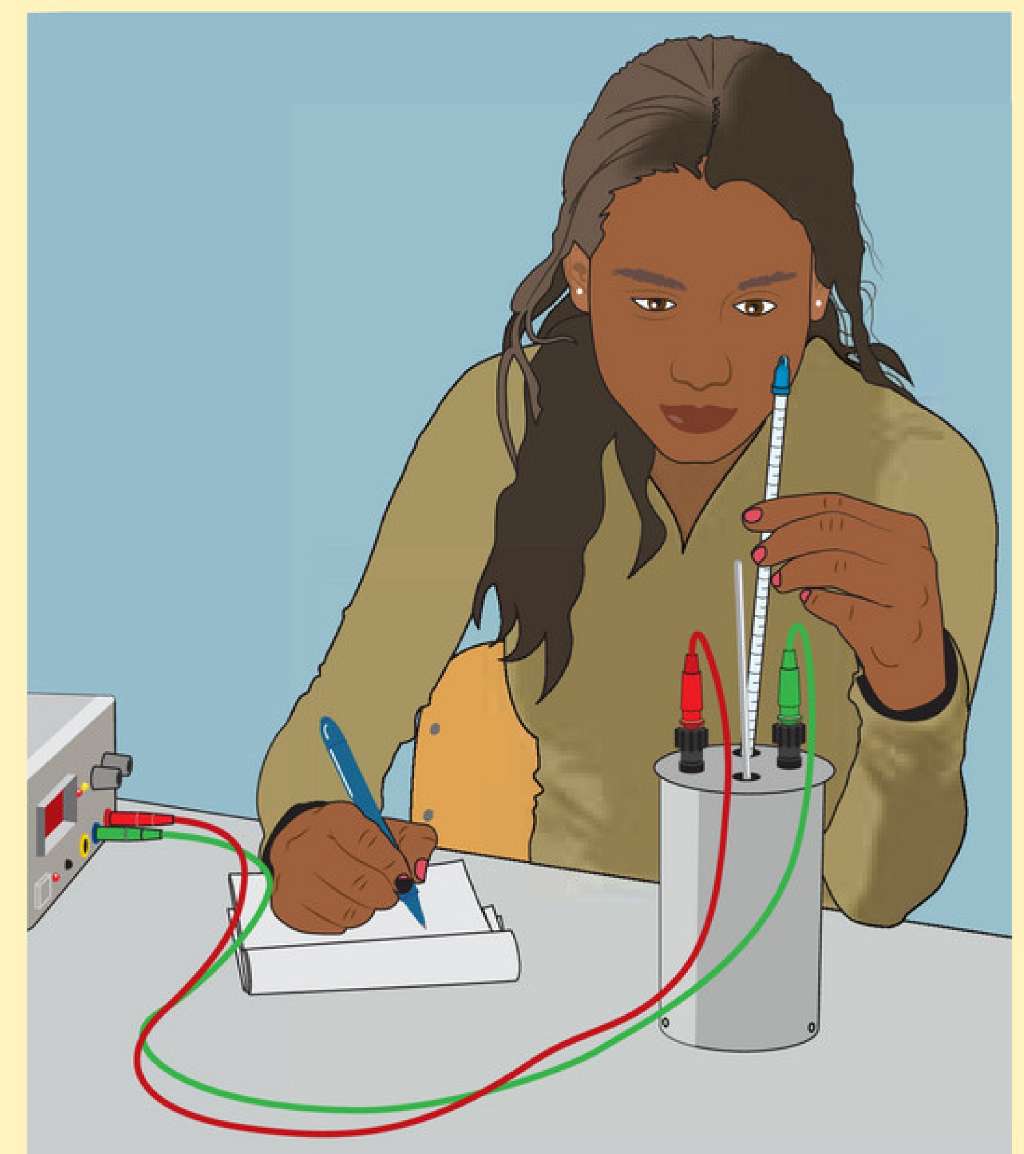
VOORBEELDOPDRACHT 1

Anouck doet 100 gram water in een warmtemeter en verwarmt het met een dompelaar van 12 W (figuur 4). Na 12 minuten is de temperatuur van het water gestegen van 19 °C naar 39 °C. Bereken hoeveel warmte de dompelaar heeft geproduceerd.

gegevens t = 12 min = 720 s
P = 12 W

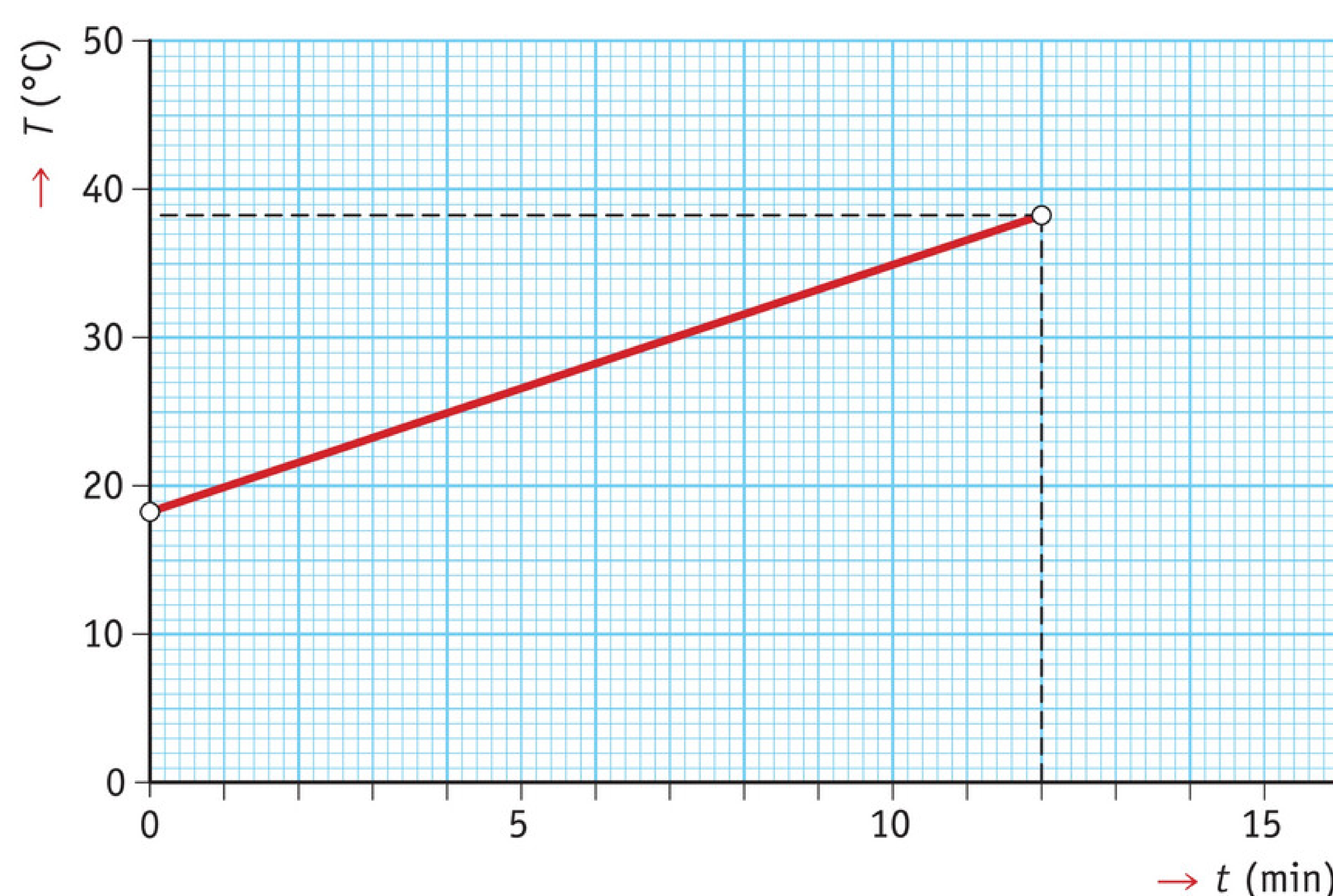
gevraagd E = ?

uitwerking $E = P \cdot t = 12 \times 720 = 8640$ J = 8,6 kJ



figuur 4 Meten met een warmtemeter.

In voorbeeldopdracht 1 was er 8,6 kJ nodig om het water 20 °C warmer te maken. In werkelijkheid is die waarde iets te hoog, omdat er ook een beetje warmte naar buiten 'lekt'. Uit nauwkeurige proeven blijkt dat 4,2 J warmte nodig is om 1 gram water 1 °C in temperatuur te laten stijgen. Het maakt daarbij niet uit of de temperatuur stijgt van 11 °C naar 12 °C of van 78 °C naar 79 °C (figuur 5).



figuur 5 Tijdens het verwarmen stijgt de temperatuur regelmatig: voor elke graad temperatuurstijging is evenveel warmte nodig.

De hoeveelheid warmte die nodig is om 1 g van een stof 1 °C in temperatuur te laten stijgen, noem je de **soortelijke warmte** van die stof. De soortelijke warmte van water is 4,2 J/(g °C). Als symbool voor soortelijke warmte wordt de letter *c* gebruikt. Je kunt de vorige zin dus ook als volgt schrijven: c_{water} = 4,2 J/(g °C). De soortelijke warmte is een stofeigenschap; elke stof heeft zijn eigen soortelijke warmte.

REKENEN MET SOORTELIJKE WARMTE

PROEF 1

Het komt vaak voor dat je een bepaalde hoeveelheid stof wilt verwarmen tot een bepaalde temperatuur. Je kunt de hoeveelheid warmte die daarvoor nodig is berekenen met een formule. Daarbij vermenigvuldig je de soortelijke warmte van de stof met de massa van de stof en met de stijging in temperatuur.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Hierin is:
- Q de warmte in joule (J);
- c de soortelijke warmte in joule per gram en per graad Celsius (J/(g °C));
- m de hoeveelheid stof in gram (g);
- $\Delta T = T_{eind} - T_{begin}$ de gewenste temperatuurstijging in graden Celsius (°C).

In deze formule wordt de massa gebruikt als maat voor een hoeveelheid vloeistof. Dat wordt gedaan omdat het volume van de vloeistof tijdens het opwarmen groter wordt, terwijl de massa juist constant blijft. Daarnaast is de massa gemakkelijker nauwkeurig te meten. In berekeningen kun je aanhouden dat 1,0 L water overeenkomt met $1{,}0 \cdot 10^3$ g.

VOORBEELDOPDRACHT 2

Een kokendwaterkraan verwarmt 1,5 L water van 20 °C tot 100 °C.
Bereken hoeveel elektrische energie de kokendwaterkraan daarbij moet omzetten. Ga ervan uit dat alle elektrische energie wordt gebruikt om het water te verwarmen.

De massa van 1,5 L water is $1{,}5 \cdot 10^3$ g.

gegevens c = 4,2 J/(g °C)
$m = 1{,}5 \cdot 10^3$ g
$\Delta T = T_{eind} - T_{begin} = 100 - 20 = 80$ °C

gevraagd Q = ?

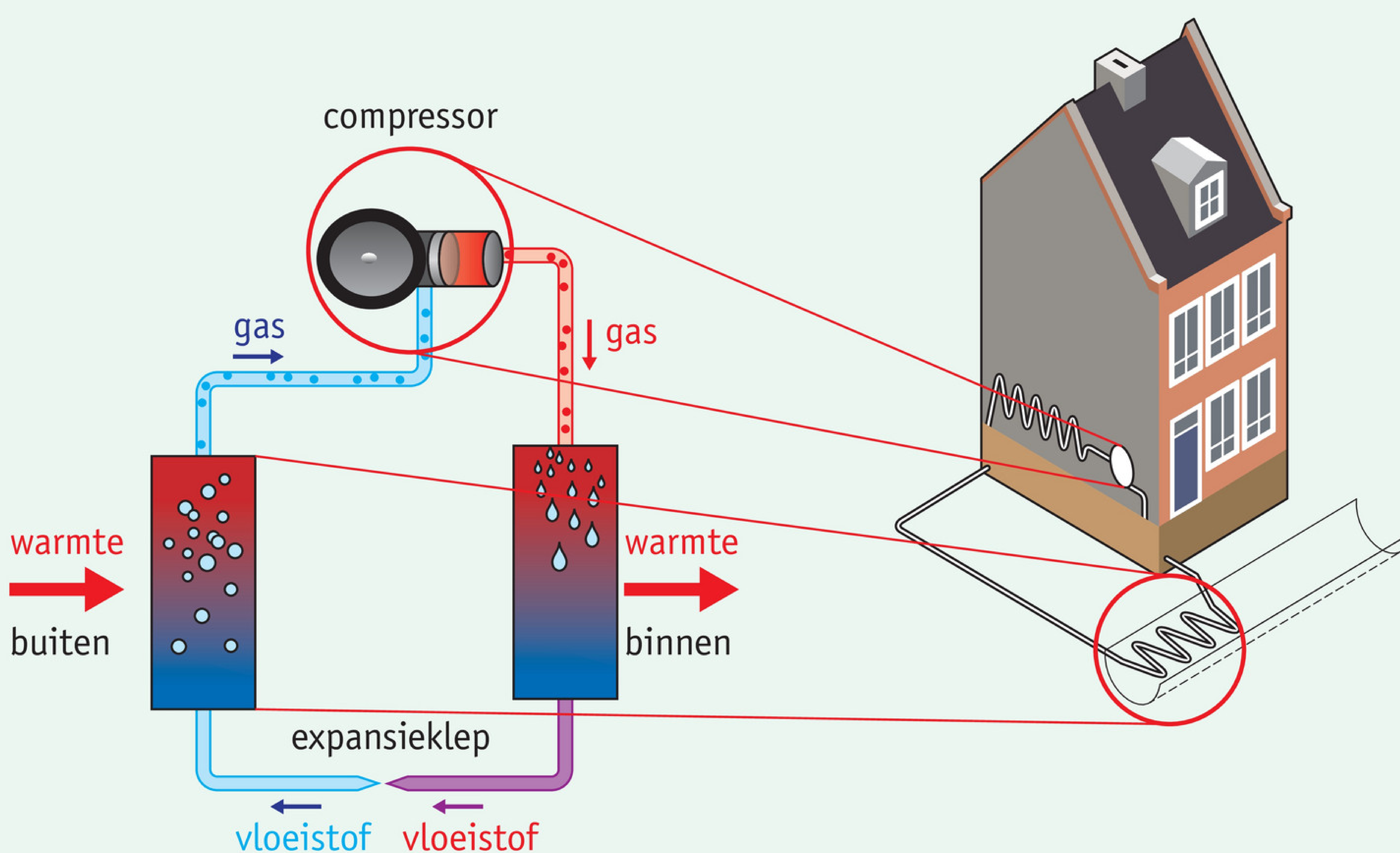
uitwerking $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4{,}2 \times 1{,}5 \cdot 10^3 \times 80 = 5{,}04 \cdot 10^5$ J = 504 kJ

PLUS DE WARMTEPOMP

In een auto wordt de motor met water gekoeld. De temperatuur van de motor is hierbij veel hoger dan de temperatuur van het koelwater. De warmte stroomt dan 'vanzelf' van de hete motor naar het koude water.

Een warmtepomp is een apparaat dat juist het omgekeerde kan doen: warmte van een plek met een lage temperatuur naar een omgeving met een hogere temperatuur laten gaan. Een warmtepomp zit bijvoorbeeld in een koelkast en een airco.

In figuur 6 zie je een schematische voorstelling van een warmtepomp die een huis in de winter verwarmt. In de buizen zit een vloeistof, bijvoorbeeld ammoniak. Omdat deze vloeistof een heel laag kookpunt heeft, verdampt de ammoniak in het buizenstelsel buitenshuis. De ammoniak neemt hierbij warmte uit de buitenlucht op. Deze energie wordt gebruikt om de afstand tussen de ammoniakmoleculen (die volgens het deeltjesmodel elkaar aantrekken) groter te maken. Een zogeheten compressor pompt het koelmiddel rond en perst de ammoniakdamp samen, waardoor deze condenseert. Hierbij komt de warmte die de ammoniak buiten heeft opgenomen weer vrij. Deze warmte kun je gebruiken om je kamer te verwarmen. Na het passeren van de expansieklep is de ammoniak voldoende afgekoeld voor een nieuwe ronde door het buizenstelsel.
In de zomer kun je met de pomp je huis koelen door het hele proces om te draaien.



figuur 6 Zo werkt de warmtepomp.

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Welke energieomzetting vindt plaats in de ketel van de centrale verwarming?
b Waarom zijn de pijlen in een energiestroomdiagram links en rechts even hoog?
c Waarom is warmte minder waardevol dan bijvoorbeeld chemische energie?
d Wat gebeurt er met watermoleculen als de temperatuur van water stijgt?
e Wat wordt bedoeld met 'de soortelijke warmte van water is 4,2 J/(g °C)'?

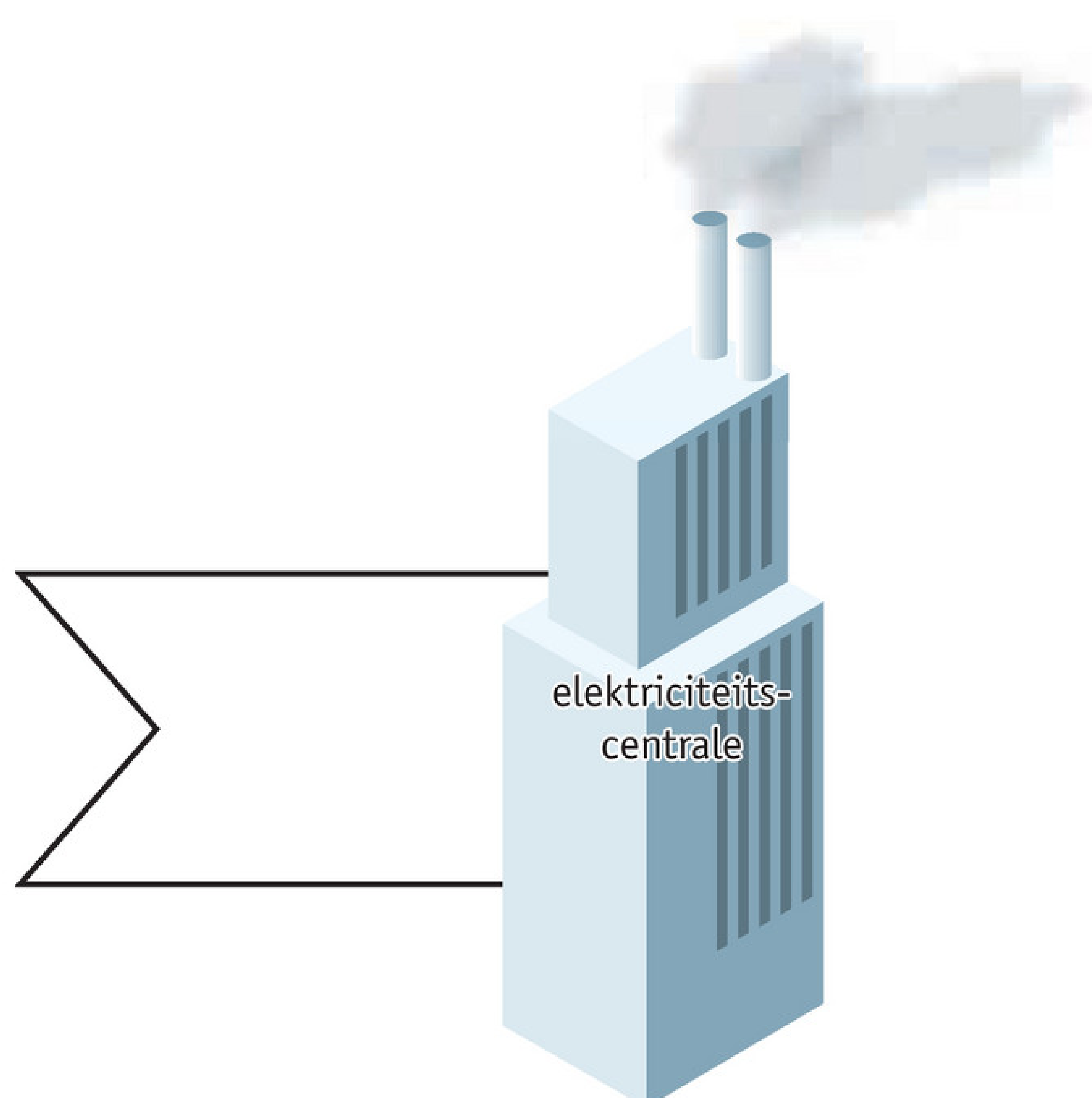
2 Bekijk de afbeelding van de warmtemeter in figuur 3.

a Op welke manier wordt het water in deze warmtemeter verwarmd?
b Hoe wordt voorkomen dat er onnodig warmte uit de warmtemeter weglekt?
c Waarom moet je tijdens het verwarmen voortdurend roeren?

TOEPASSING

3 Een elektriciteitscentrale verbrandt aardgas en produceert elektrische energie. Bij dat proces komt veel warmte vrij. Slechts 40% van de toegevoerde energie wordt omgezet in nuttige energie.

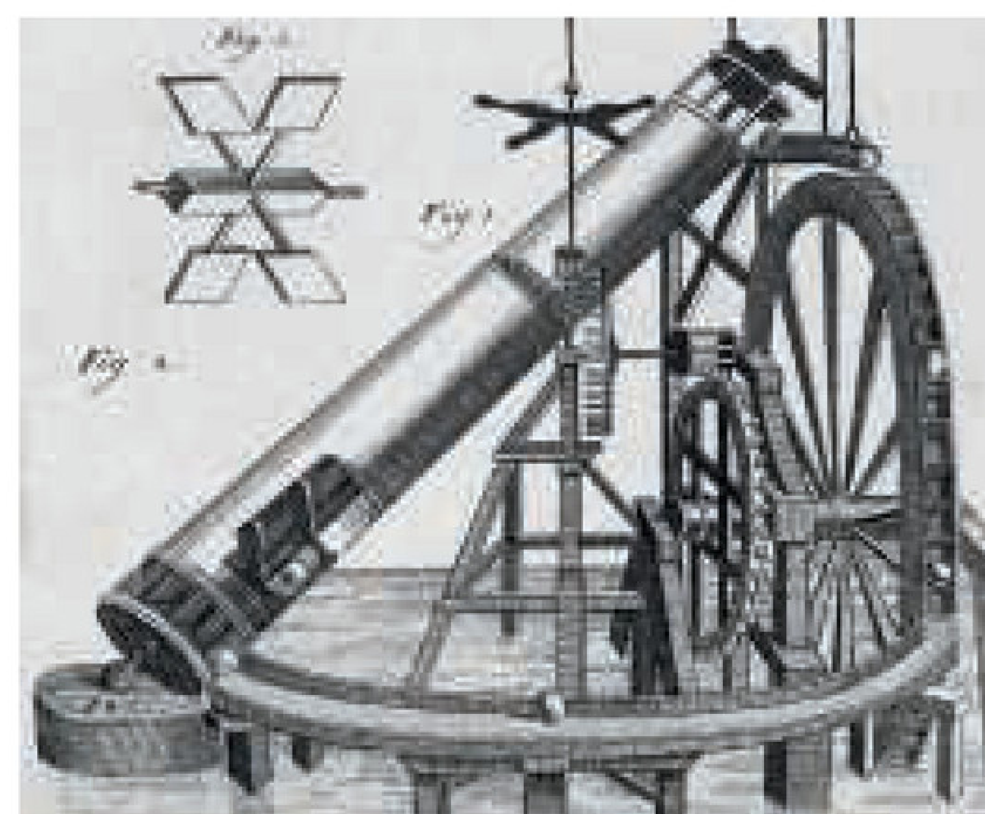
a Maak het energiestroomdiagram in figuur 7 af.
b Schrijf in de pijlen de namen van de energiesoorten.



figuur 7 Het energiestroomdiagram van een gasgestookte elektriciteitscentrale.

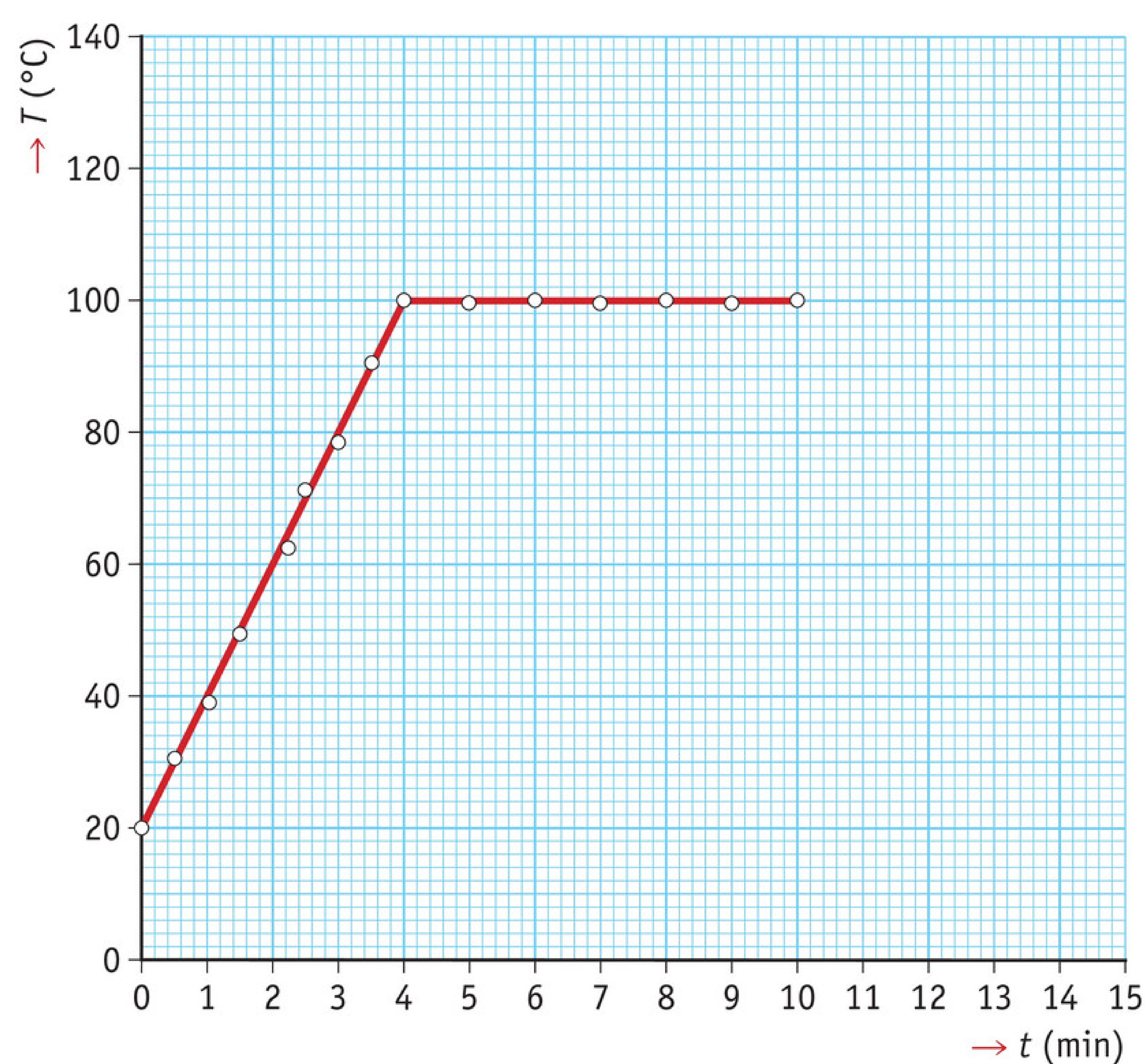
★ 4 Al eeuwenlang proberen creatieve uitvinders een perpetuum mobile (Latijn voor: 'eeuwig in beweging') te ontwerpen. Dat is een machine die altijd blijft werken, zonder dat je na het opstarten nog energie hoeft toe te voeren. In figuur 8 zie je een voorbeeld van zo'n ontwerp.

a Leg uit waarom een perpetuum mobile onmogelijk altijd kan blijven werken.
b Hoe kan het dat de atmosfeer en de oceanen wel altijd in beweging blijven?



figuur 8 Een ontwerp van een perpetuum mobile door de Duitse wetenschapper Ulrich von Kranach uit 1664.

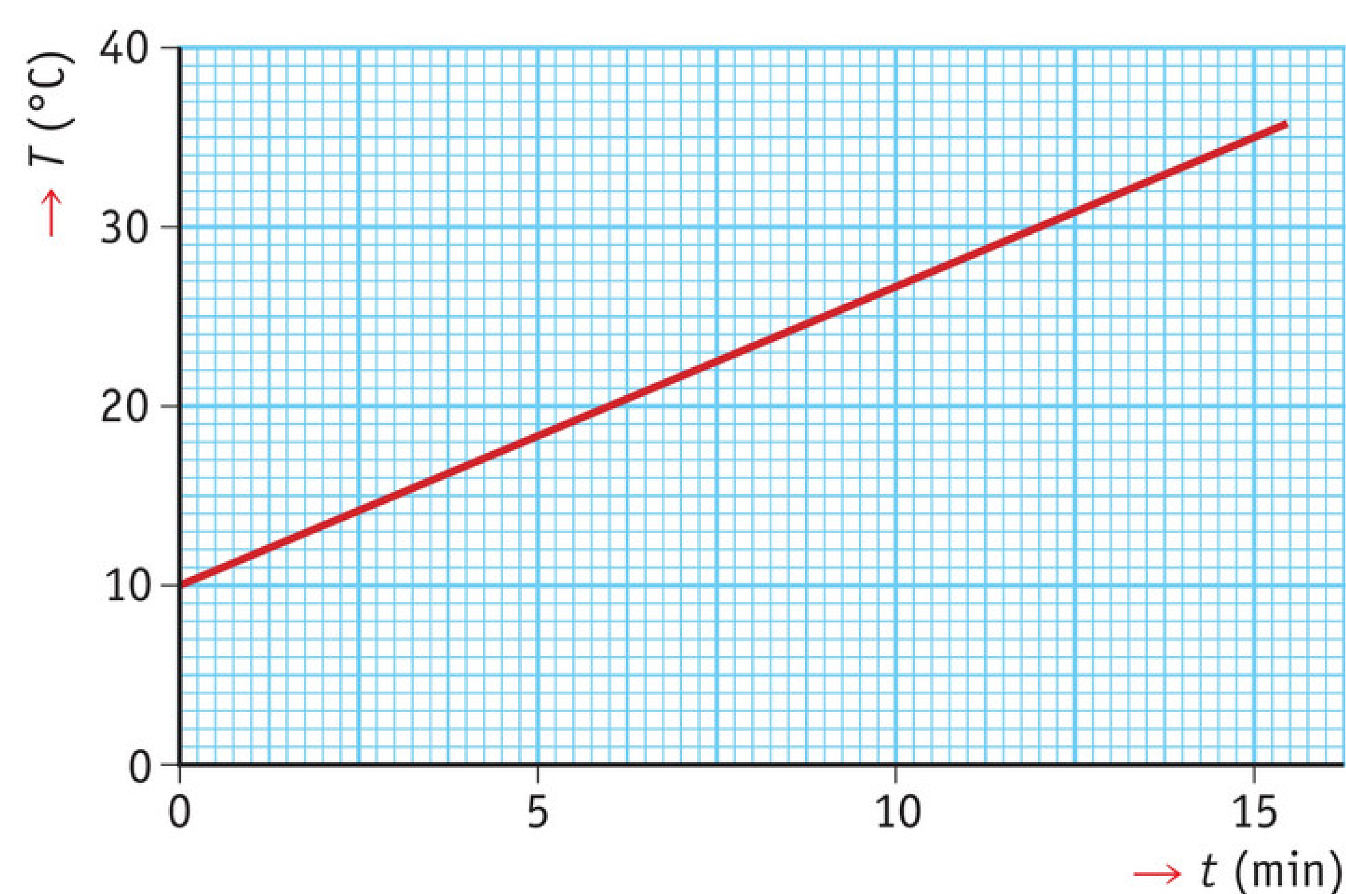
5 Epke verwarmt 100 mL water met een brander. Om de 30 s meet hij de temperatuur. In figuur 9 is een grafiek van zijn meetresultaten afgedrukt.
Daarna verwarmt Epke 150 mL water. De gasbrander brandt met een even grote en hete vlam als de eerste keer.
Teken in figuur 9 de grafiek van deze proef (met 150 mL water). Licht je grafiek toe.



figuur 9 De proef van Epke.

6 Leontien verwarmt 150 mL water in een warmtemeter. Haar meetresultaten staan in figuur 10.

a Zie de vaardigheid *Werken met machten van 10*.
Bereken hoeveel warmte het water in 15 minuten opneemt.



figuur 10 De grafiek van Leontien.



Meer oefening nodig met *Rekenen met soortelijke warmte*? Ga naar de *Vaardigheidstrainer*.

b Bereken het vermogen van het verwarmingselement.

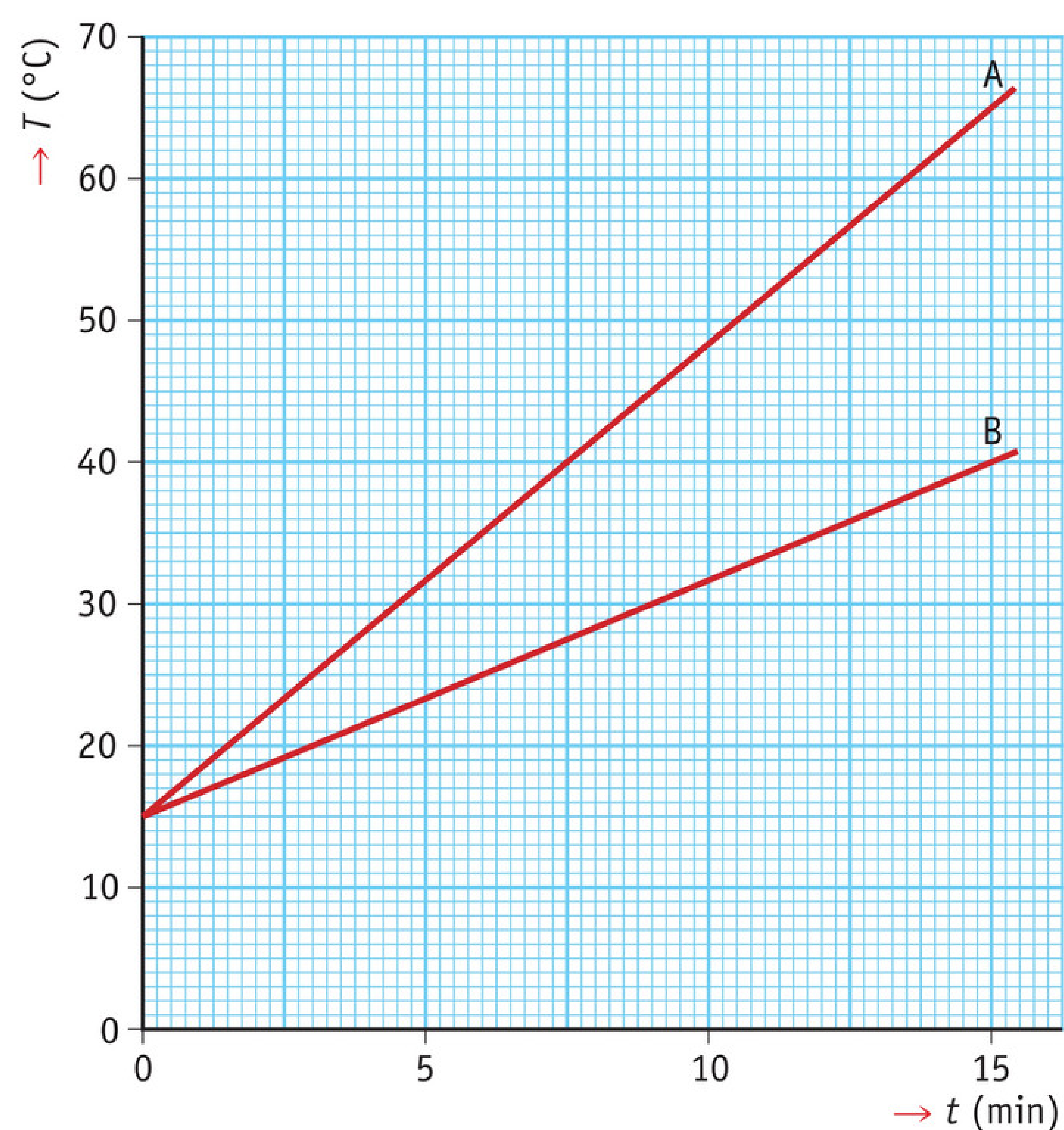
c Je uitkomst bij opdracht b zal iets te laag zijn, vergeleken met het werkelijke vermogen.
Waaraan ligt dat?

★ 7

Jos verwarmt met een dompelaar van 12 W eerst 100 g van vloeistof A en daarna 100 g van vloeistof B. In figuur 11 zie je de grafieken die hij van de twee proeven heeft gemaakt.

a Welke vloeistof heeft de grootste soortelijke warmte? Waaraan zie je dat?

b Welke van deze twee vloeistoffen zou water kunnen zijn? Licht je antwoord toe.



figuur 11 De grafieken van Jos.

8

Joan vult de waterkoker van figuur 12 helemaal met water van 20 °C en zet het apparaat aan.

a Bereken hoelang het minstens duurt voordat het water kookt.

b Leg uit waarom bij opdracht a het woord 'minstens' staat.



Elektrische waterkoker

- inhoud 1,7 liter
- 2200 W
- afneembare kan
- droogkookbeveiliging
- waterpeilindicator
- fraai design
- twee jaar garantie

figuur 12 Een snelkoker of een langzaamkoker?

★ 9

Op de camping maakt Ella met een brander 1,5 L thee (figuur 13). Ze verwarmt het water van 20 °C tot 100 °C. Helaas stroomt 50% van de geproduceerde warmte langs de pan en gaat verloren. De brandstof levert 46 kJ/g warmte.
Bereken hoeveel gram brandstof Ella gebruikt.



figuur 13 Water verwarmen.

PLUS DE WARMTEPOMP

10

Het condenseren van ammoniak in een warmtepomp vindt plaats bij een hoge druk.

a Leg met het deeltjesmodel uit dat het condenseren dan gemakkelijker gaat.

b Onderstreep de juiste woorden en licht je antwoord toe.
Als een gas condenseert, *neemt het warmte op* / *komt er warmte vrij* en *stijgt de temperatuur* / *blijft de temperatuur gelijk* / *daalt de temperatuur*.

11

In het huis in figuur 6 stroomt per seconde 12 L water uit een beekje langs de buizen buiten de woning. De begintemperatuur van het water is 6,3 °C. De verdampende ammoniak neemt hierbij per seconde 21 kJ warmte van het water op.

a Bereken de temperatuur van het water nadat het langs het buizenstelsel is gestroomd. Voor de berekening mag je ervan uitgaan dat 1,0 L water een massa van 1,0 kg heeft.

b De ammoniak die is verdampt, stroomt naar de compressor. In tabel 1 zie je enkele technische gegevens over de werking van de compressor.

tabel 1 Enkele gegevens over de werking van de compressor.

gegevens	voor de compressor	na de compressor
temperatuur damp	−17 °C	47 °C
druk damp	0,19 MPa	1,9 MPa
spanning	380 V	
stroomsterkte	18,4 A	

Voor de ammoniakdamp gelden twee regels:

- Het volume van de damp is recht evenredig met de temperatuur (in kelvin). (regel 1)

Kelvin is een andere eenheid voor temperatuur die vaak in de wetenschap wordt gebruikt.
Er geldt:
T (in kelvin, K) = *T* (in °C) + 273

Reken de temperaturen uit de tabel om in K.

c Behalve regel 1 geldt voor de damp nog een tweede regel:
- Het volume van de damp is omgekeerd evenredig met de druk. (regel 2)

Zie de vaardigheid *Verbanden meten*.

Vul de juiste getallen in en licht je antwoord toe met een berekening.

Vlak na de compressor is de temperatuur (in K) van de damp .... × zo groot geworden.

Vlak na de compressor is de druk .... × zo groot geworden.

d Bereken tot welk volume 1 dm^3 ammoniakdamp vlak achter de compressor is samengeperst. Gebruik hiervoor je antwoorden bij opdracht c.

e De samengeperste ammoniakdamp condenseert en geeft in de woning per seconde in totaal 21 kJ warmte af. Het elektrisch vermogen dat hiervoor is opgenomen kun je berekenen met gegevens uit tabel 1.
Vul het juiste getal in en licht je antwoord toe met een berekening.

Voor elke kW opgenomen elektrisch vermogen levert de pomp .... × zoveel warmte per seconde aan de woning.

3 Isoleren

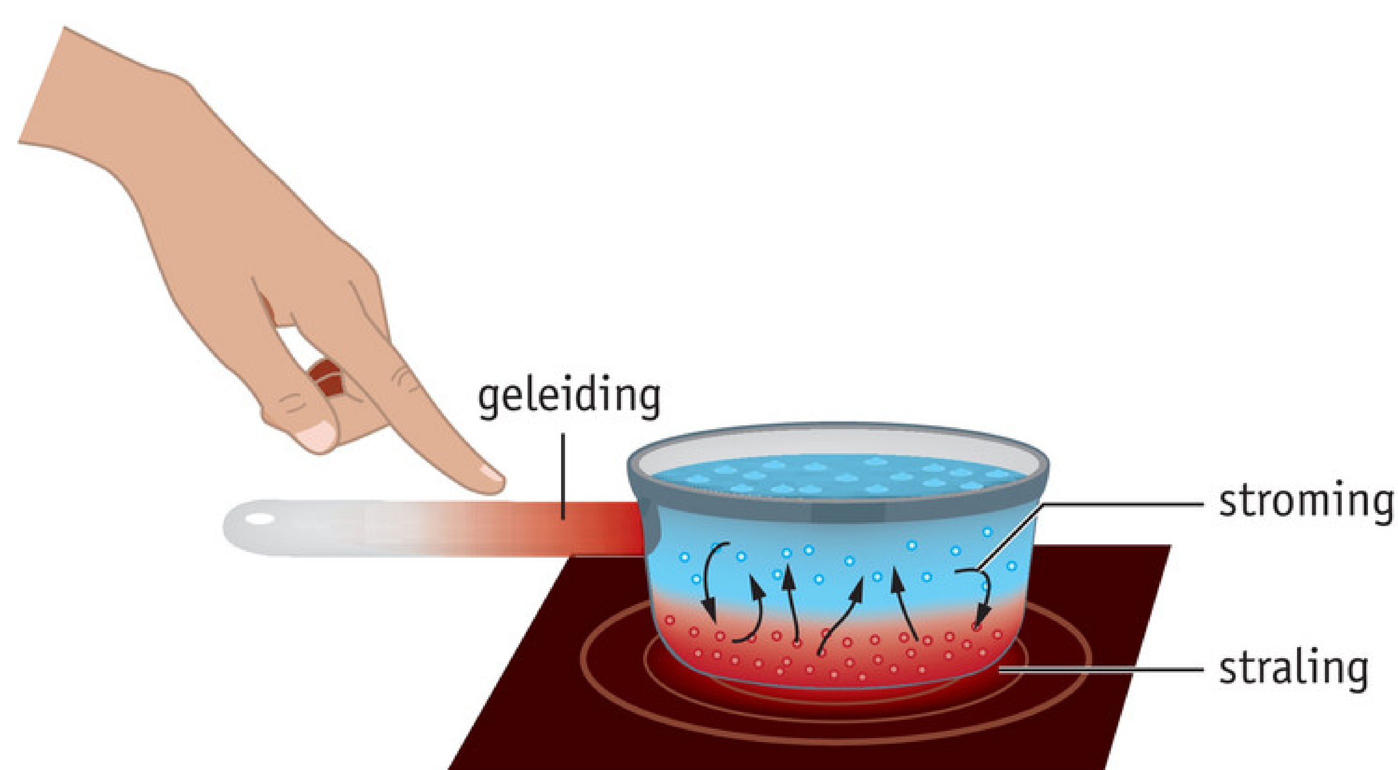
LEERDOELEN

3.3.1 Je kunt uitleggen op welke manieren een huis warmte verliest.
3.3.2 Je kunt uitleggen hoe er een dynamisch evenwicht ontstaat tussen warmteverlies en warmteproductie.
3.3.3 Je kunt berekenen hoeveel warmte door de muur van een huis wegstroomt.
3.3.4 Je kunt uitleggen hoe je het warmteverlies in een huis kunt verkleinen.
PLUS 3.3.5 Je kunt uitleggen welke maatregelen bewoners van een huis kunnen nemen om het huis energieneutraal te maken.

Als het buiten koud is, verdwijnt uit een slecht geïsoleerd huis veel warmte naar buiten. Je kunt het warmteverlies beperken door muren, ramen, vloeren en daken beter te isoleren. Dat maakt het niet alleen behaaglijker in huis, maar zorgt ook voor een lagere energierekening.

WARMTEVERLIES

Als de temperatuur in huis hoger is dan de temperatuur buiten, verliest het huis voortdurend warmte aan de omgeving. Dat gaat het snelst als het waait, doordat de wind de warmere lucht in en rond het huis meeneemt. Maar zelfs als het helemaal windstil is, lekt er voortdurend warmte weg. Dat gebeurt op drie manieren: door **geleiding**, door **stroming** en door **straling** (figuur 1).



figuur 1 Geleiding, stroming en straling in de keuken.

Geleiding

Bij geleiding verspreidt de warmte zich door een stof, zoals baksteen of glas. Dat komt doordat de moleculen in de stof onophoudelijk met elkaar botsen. Daarbij geven ze hun bewegingsenergie aan elkaar door. Zo verspreidt de warmte zich van de plaats waar de temperatuur het hoogst is naar waar de temperatuur lager is. Metalen geleiden warmte goed; hout en kunststof geleiden warmte slecht.

Stroming

Als je een vloeistof of een gas verwarmt, kan er een stroming (convectie) ontstaan. Dat zie je bijvoorbeeld bij de lucht in huis. De lucht bij de radiatoren krijgt een hogere temperatuur, zet uit en krijgt zo een kleinere dichtheid. De verwarmde lucht stijgt daardoor op en neemt de warmte met zich mee. Verderop koelt de lucht af en daalt weer.

Straling
Alles om je heen – en ook je eigen lichaam – zendt straling uit: kleine pakketjes stralingsenergie verplaatsen zich naar de omgeving. Hoe hoger het temperatuurverschil tussen een voorwerp en de omgeving, hoe meer stralingsenergie het voorwerp uitzendt. Een warm huis raakt daardoor in de winter meer warmte kwijt dan in de zomer (figuur 2).

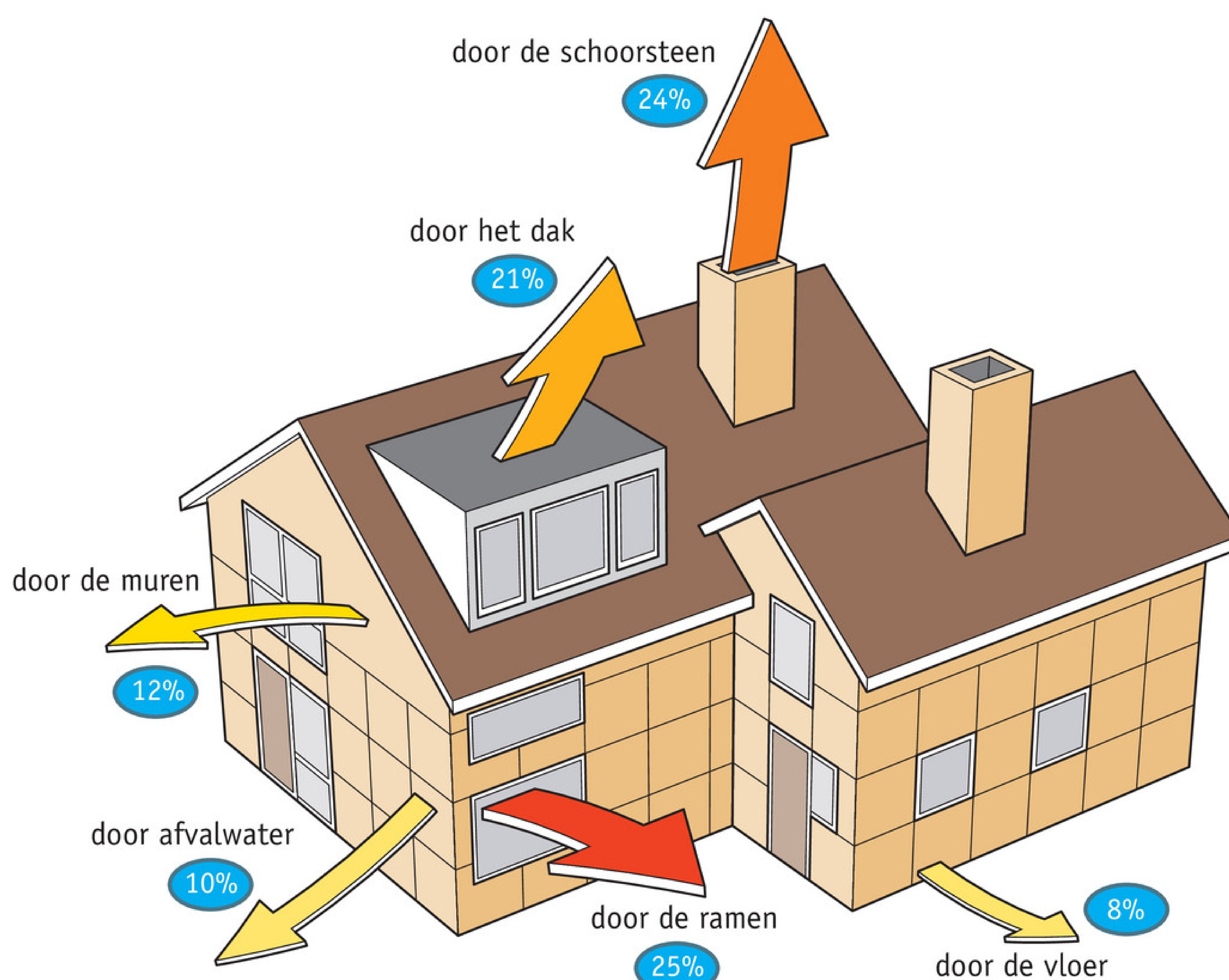


figuur 2 Een thermogram maakt de infrarode straling zichtbaar die een huis uitstraalt.

Geleiding, stroming en straling zijn heel verschillende processen. Alle drie hebben ze wel hetzelfde effect: warmte verspreidt zich van de plaats met de hoogste temperatuur naar plaatsen met een lagere temperatuur. Voorwerpen met een hogere temperatuur dan hun omgeving verliezen dus voortdurend warmte.

DYNAMISCH EVENWICHT

De temperatuur in huis blijft alleen constant als de verwarming evenveel warmte levert als het huis naar buiten verliest (figuur 3). De warmteproductie en het warmteverlies zijn dan in evenwicht. Als je de verwarming op een hogere stand zet, wordt de warmteproductie groter dan het warmteverlies. De temperatuur in huis gaat dan stijgen.



figuur 3 Het warmteverlies van een matig geïsoleerde woning.

De temperatuur zal in zo'n situatie niet steeds verder stijgen. Dat komt doordat het warmteverlies ook toeneemt als de temperatuur stijgt. Op een gegeven moment zijn bij een hogere temperatuur warmteproductie en warmteverlies opnieuw in evenwicht. Je zegt dat er tussen warmteproductie en warmteverlies een **dynamisch evenwicht** bestaat: het evenwicht stelt zich bij elke verandering opnieuw in.

Door een goede **isolatie** kun je het warmteverlies van een huis beperken. Er is dan minder warmte nodig om een constante binnentemperatuur te handhaven. Ook in een goed geïsoleerd huis stelt zich vanzelf een evenwicht in tussen warmteproductie en warmteverlies als je de verwarming aanzet. Alleen is de hoeveelheid warmte die nodig is om evenwicht te maken veel kleiner geworden.

MUURISOLATIE

De muren van een huis worden vaak van baksteen gemaakt. Dit bouwmateriaal is een relatief goede warmtegeleider. Dat betekent dat er door de muren van een huis veel warmte naar buiten kan verdwijnen. Hoeveel warmte er per seconde door een muur naar buiten stroomt, hangt af van:

- het temperatuurverschil ΔT tussen binnen en buiten;
- de oppervlakte A van de muur;
- de kwaliteit van de isolatie. Die kwaliteit wordt aangegeven door de U-waarde in W/(m^2 °C). Hoe hoger de U-waarde, des te groter het warmteverlies door de muur is. Een goed geïsoleerde muur heeft dus een lage U-waarde, een slecht geïsoleerde muur een hoge U-waarde.

De hoeveelheid warmte Q_w die per seconde door een wand wegstroomt kun je berekenen met de formule:

$$Q_w = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Hierin is:

- Q_w het warmteverlies per seconde, in joule per seconde (J/s);
- U de U-waarde van de muur, in W/(m^2 °C);
- A de oppervlakte van de muur, in vierkante meter (m^2);
- ΔT het temperatuurverschil tussen binnen en buiten, in graden Celsius (°C).

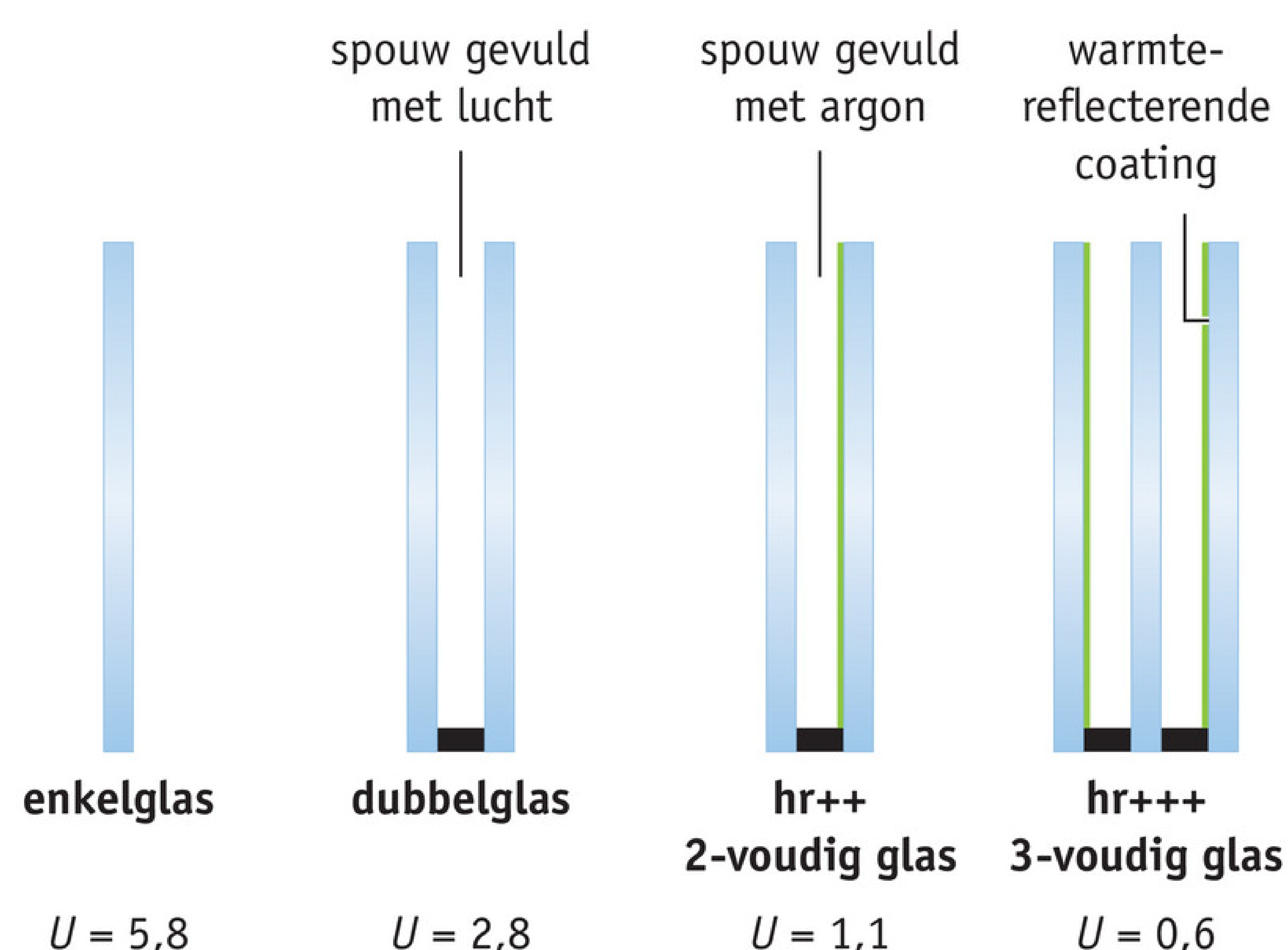
Je kunt de U-waarde sterk verkleinen door een muur te isoleren, bijvoorbeeld met glaswol, steenwol of polystyreen (figuur 4). Die isolatiematerialen zitten vol met lucht in kleine holten. Omdat lucht de warmte zeer slecht geleidt, neemt de U-waarde sterk af. Een 5 cm dikke laag isolatiemateriaal kan het warmteverlies door een muur 4× zo klein maken.



figuur 4 Isolatiematerialen bestaan grotendeels uit lucht.

EEN HUIS ISOLEREN

Er zijn nog meer manieren om een huis beter te isoleren. Je kunt bijvoorbeeld:
- enkel- en dubbelglas vervangen door veel beter isolerend hr++ of hr+++ glas (figuur 5);
- de spouw (de ruimte tussen de binnenmuur en de buitenmuur) vullen met isolatiemateriaal;
- tegen daken en vloeren een isolatielaag aanbrengen van glas- of steenwol, polystyreen of luchtkussenfolie;
- verwarmingsleidingen en warmwaterleidingen isoleren op plaatsen waar ze door koude ruimten lopen, zoals een garage en een kelder;
- kieren dichten met een tochtstrip.



figuur 5 Enkelglas, dubbelglas, hr++ glas en hr+++ glas.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Ina leest in een folder dat je met het isoleren van cv-leidingen veel energie kunt besparen: ongeveer 10 m^3 aardgas per meter leiding per jaar.
1 m^3 aardgas levert $32 \cdot 10^6$ J warmte.
Ina isoleert 15 m cv-leiding in haar huis.
Hoeveel warmte bespaart ze daarmee per jaar?

gegevens 1 m leiding isoleren bespaart 10 m^3 aardgas per jaar.
1 m^3 aardgas levert $32 \cdot 10^6$ J warmte.

gevraagd de besparing aan warmte per jaar

uitwerking 15 meter leiding isoleren bespaart $15 \times 10 = 150$ m^3 aardgas per jaar.
Dat komt overeen met $150 \times 32 \cdot 10^6 = 4{,}8 \cdot 10^9$ J = 4,8 GJ warmte.

PLUS ENERGIENEUTRAAL WONEN

In een gemiddeld woonhuis wordt flink wat chemische en elektrische energie verbruikt. Dat merken de bewoners als ze de meterstanden voor de jaarlijkse energierekening opnemen. Het elektriciteitsverbruik van een gemiddeld huishouden in 2019 was 3000 kWh en het gemiddelde gasverbruik 1500 m^3. Dat levert een totale energierekening op van ruim € 1.840 (inclusief vastrecht, prijspeil 2019).

De bewoners kunnen hun energierekening verlagen door hun huis goed te isoleren. Zo kunnen ze voorkomen dat er onnodig veel energie wordt verbruikt om te verwarmen. Steeds meer mensen kiezen ervoor om zelf in een deel van hun energiebehoefte te voorzien. Dat kan bijvoorbeeld door zonnepanelen of zonnecollectoren op het dak te laten plaatsen. Al die maatregelen leiden ertoe dat de energierekening lager wordt.

De overheid wil dat gebouwen in de toekomst **energieneutraal** zijn. Dat wil zeggen dat een gebouw over het hele jaar gerekend evenveel energie opwekt als verbruikt (figuur 6).



figuur 6 Een energieneutraal huis. Door isolatie is het warmteverlies zo laag mogelijk. Het huis wekt de benodigde energie zelf op.


Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** In welke richting verspreidt de warmte zich bij geleiding, stroming en straling?
- **b** Hoe komt het dat je de warmte die een huis verliest niet kunt hergebruiken?
- **c** Waarom moet een warmtebron in huis bij koud weer steeds opnieuw warmte leveren?
- **d** Waarom bestaat een isolatiemateriaal zoals piepschuim grotendeels uit lucht?
- **e** Wat wordt bedoeld met ‘tussen de warmteproductie en het warmteverlies bestaat een dynamisch evenwicht’?

2 Door een muur verdwijnt warmte van binnen in een huis naar buiten.
- **a** Met welke formule kun je het warmteverlies berekenen?
- **b** Van welke drie factoren hangt het warmteverlies volgens deze formule af?
- **c** Welke van deze factoren verandert als je de muur isoleert? Op welke manier?

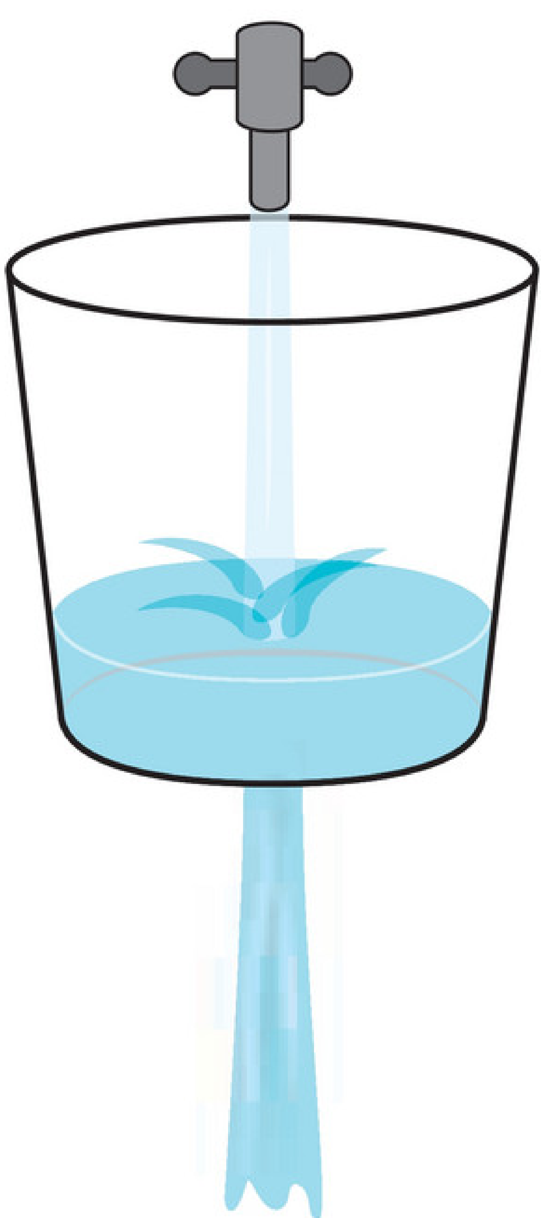
TOEPASSING

3 In figuur 7 zie je een emmer die onder een stromende kraan staat.
Onder in de emmer zit een gat.

a Leg uit waardoor het waterniveau in de emmer na enige tijd niet meer verandert.

b Als je de kraan verder opendraait, zal het waterniveau eerst stijgen.
Hoe komt het dat het waterniveau al snel niet verder omhooggaat?

c Je kunt de emmer in figuur 7 vergelijken met een huis dat wordt verwarmd.
Vul de tabel hieronder verder in.



figuur 7 Een emmer in dynamisch evenwicht.

Dit onderdeel van figuur 7	komt overeen met:
de emmer	een huis dat verwarmd wordt
de kraan boven de emmer	
het water uit de kraan	
het waterniveau in de emmer	
het naar buiten stromende water	

4 Als het buiten vriest en je pakt je fiets uit de schuur, voelt je fietsstuur veel kouder aan dan je zadel.
Geef daarvoor een verklaring.

5 Liefhebbers van natuurijs hebben een hekel aan sneeuw. Als er een dikke laag sneeuw op het ijs ligt, wordt de ijslaag nauwelijks dikker, ook al vriest het hard.
Leg uit waardoor het ijs ondanks de strenge vorst toch niet dikker wordt.

6 Bij de bouw van nieuwe huizen wordt veel aandacht besteed aan het beperken van het energiegebruik. Zo'n huis heeft vaak aan één kant grote ramen zodat er zelfs midden in de winter nog warmte naar binnen kan komen.

a Welke energiebron verwarmt het huis dan?

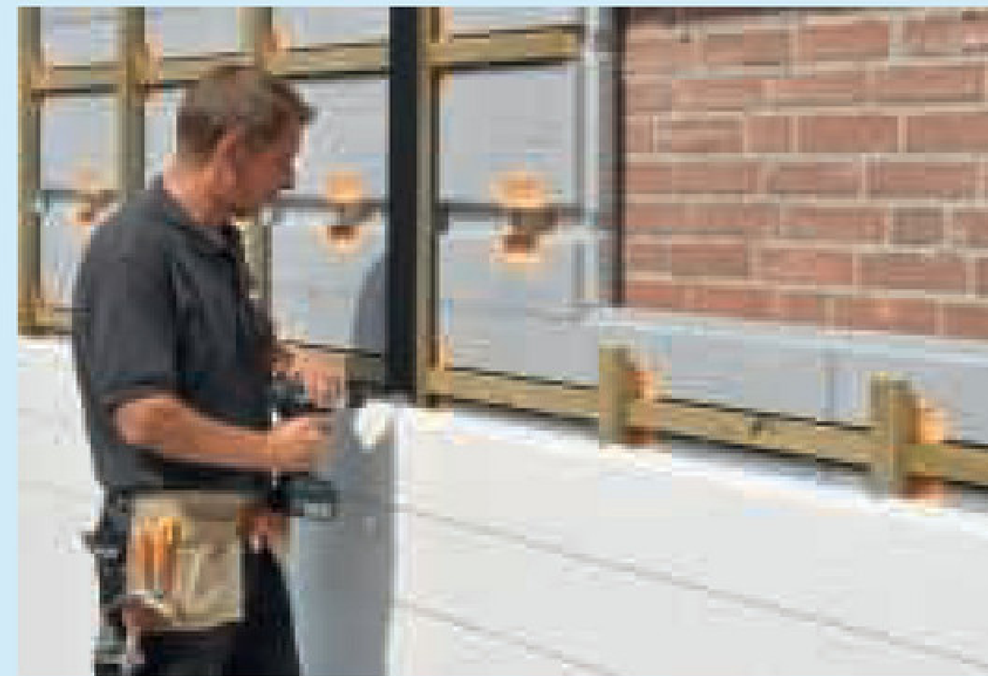
b Welke vorm van warmtetransport brengt de warmte het huis in?

c Aan welke kant kan een raam daarvoor het best zitten: aan de noord-, de zuid-, de oost- of de westkant?

d Aan welke kant van het huis kun je het best alleen kleine ramen hebben?

7 Sebastiaan heeft een oud huis met geïsoleerde spouwmuren gekocht. Toch vindt hij zijn energieverbruik nog veel te hoog. In een folder leest hij dat hij met voorzetwanden veel energie én geld kan besparen (figuur 8).

Voorzetwand op buitenmuur: prima idee!



Een goed geïsoleerde spouwmuur laat veel minder warmte door dan een lege spouwmuur. Het warmteverlies door zo'n geïsoleerde muur bedraagt 256 MJ (8 m^3 aardgas) per vierkante meter per jaar. De plaatsing van een voorzetwand tegen de buitenmuur geeft een nog lager warmteverlies, slechts 80 MJ per vierkante meter per jaar. Het is dus beslist aan te raden om een voorzetwand aan de buitenzijde van uw spouwmuren te plaatsen. U kunt er honderden euro's per jaar mee besparen.

figuur 8 Een gedeelte uit een folder over spouwmuurisolatie.

a Hoeveel warmte verdwijnt volgens de folder per jaar door 1 m^2 van een geïsoleerde spouwmuur zonder voorzetwand?
b Hoeveel warmte verdwijnt volgens de folder per jaar door 1 m^2 van een geïsoleerde spouwmuur met voorzetwand?
c Sebastiaan besluit om voorzetwanden aan te laten brengen. In totaal laat hij 55 m^2 muuroppervlak op deze manier isoleren.
Bereken hoeveel minder warmte daardoor per jaar uit zijn huis verdwijnt.
d Sebastiaans huis wordt verwarmd met aardgas.
Bereken hoeveel m^3 aardgas Sebastiaan voortaan per jaar bespaart.
e Bereken met hoeveel euro Sebastiaans jaarlijkse energierekening naar beneden gaat.
1 m^3 aardgas kost € 0,75.
f In de folder staat dat je met spouwmuurisolatie 'honderden euro's per jaar kunt besparen'.
Ben jij het met deze uitspraak eens? Licht je antwoord toe.

8 Suzanne heeft een oud huis met ruiten van enkelglas gekocht. Op een website leest ze dat er door enkelglas veel warmte verloren gaat (figuur 9).
a De ruiten van Suzannes huis hebben een totale oppervlakte van 14 m^2.
Bereken hoeveel m^3 aardgas er per stookseizoen overeenkomt met de warmte die door de ramen verloren gaat.
b Suzanne besluit om het enkelglas overal te vervangen door hr++ glas.
Bereken hoeveel m^3 aardgas ze hierdoor per stookseizoen bespaart.
c Hr++ glas kost € 120,- per m^2 (inclusief montage). Aardgas kost € 0,75 per m^3.
Bereken hoelang het duurt voordat Suzanne de kosten van het dubbelglas heeft terugverdiend. Ga ervan uit dat de gasprijs niet verandert.

U-waarde

Met de *U*-waarde kun je een schatting maken van het warmteverlies door een dak, raam of vloer. Daarvoor gebruik je de volgende vuistregel:
Het warmteverlies per jaar door 1 m^2 van een dak, wand of raam komt overeen met een gebruik van 10 × U m^3 aardgas.
Enkele voorbeelden (*U* in W/(m^2 °C))

- raam met enkelglas: *U* = 6
- raam met dubbelglas: *U* = 3
- raam van hr++ glas: *U* = 1,1
- niet-gevulde spouwmuur: *U* = 1,8
- gevulde spouwmuur: *U* = 0,8

figuur 9 Een website over de *U*-waarde van ramen en muren.

★ 9

Vervolg van opdracht 8.
Op een winterdag is de buitentemperatuur −4 °C. Binnen is het lekker warm met een temperatuur van 20 °C.

a Bereken met $Q_w = U \cdot A \cdot \Delta T$ hoeveel joule warmte Suzanne per seconde uitspaart door het installeren van hr++ glas.
b Bereken de besparing in MJ per dag als de verwarming overdag (16 uur) aanstaat.
c De stookwaarde van aardgas is 32 MJ/m^3.
Bereken hoeveel m^3 aardgas Suzanne per dag bespaart.
d Op de meeste dagen van het jaar zal Suzanne veel minder aardgas besparen.
Leg uit hoe dat komt.

PLUS ENERGIENEUTRAAL WONEN

10

Het dak van het huis in figuur 6 steekt aan de voorkant een flink stuk uit.

a Leg uit waarom alleen de zuidkant van het huis zo'n uitstekend gedeelte heeft.
b Hoe komt het dat er in de zomer maar weinig zonlicht het huis binnenkomt?
c Hoe komt het dat de bewoners in de winter wel 'veel zon in huis' hebben?
d Leg uit welke voordelen deze manier van bouwen voor de energierekening heeft.

11

Zoek op internet informatie over een energieneutraal huis.

a Welke maatregelen brengen het verbruik van energie in huis naar beneden?
b Welke maatregelen leveren (netto) energie op die je in huis kunt gebruiken?
c Wordt er in een energieneutraal huis energie verbruikt die niet door het huis zelf wordt opgewekt? Hoe wordt dat gecompenseerd, zodat je het huis toch energieneutraal kunt noemen?

12

Het huis in figuur 6 is energieneutraal, onder andere door het gebruik van zonnepanelen. Een zonnepaneel is 1,00 m breed en 1,70 m hoog en heeft een piekvermogen van 330 W. Omdat de zon niet altijd schijnt, is het gemiddelde vermogen veel lager dan het piekvermogen. Gemiddeld wekt een zonnepaneel jaarlijks 280 kWh elektrische energie op.

a Bereken het gemiddelde vermogen van een zonnepaneel.
b Zonder de extra isolatie of energiebesparende maatregelen kan het huis niet energieneutraal zijn.
Laat met behulp van figuur 6 en een berekening zien dat deze uitspraak klopt. Ga daarbij uit van een gemiddeld huishouden, dat 3000 kWh elektrische energie nodig heeft, plus de energie uit 1500 m^3 gas. 1 m^3 gas levert 8,9 kWh.

4 Rendement

LEERDOELEN

3.4.1 Je kunt aan de hand van een energiestroomdiagram uitleggen hoe efficiënt een apparaat met energie omgaat.
3.4.2 Je kunt het rendement van een apparaat berekenen op basis van energie.
3.4.3 Je kunt het rendement van een apparaat berekenen op basis van vermogen.
PLUS 3.4.4 Je kunt uitleggen hoe industriële restwarmte nuttig kan worden gebruikt.

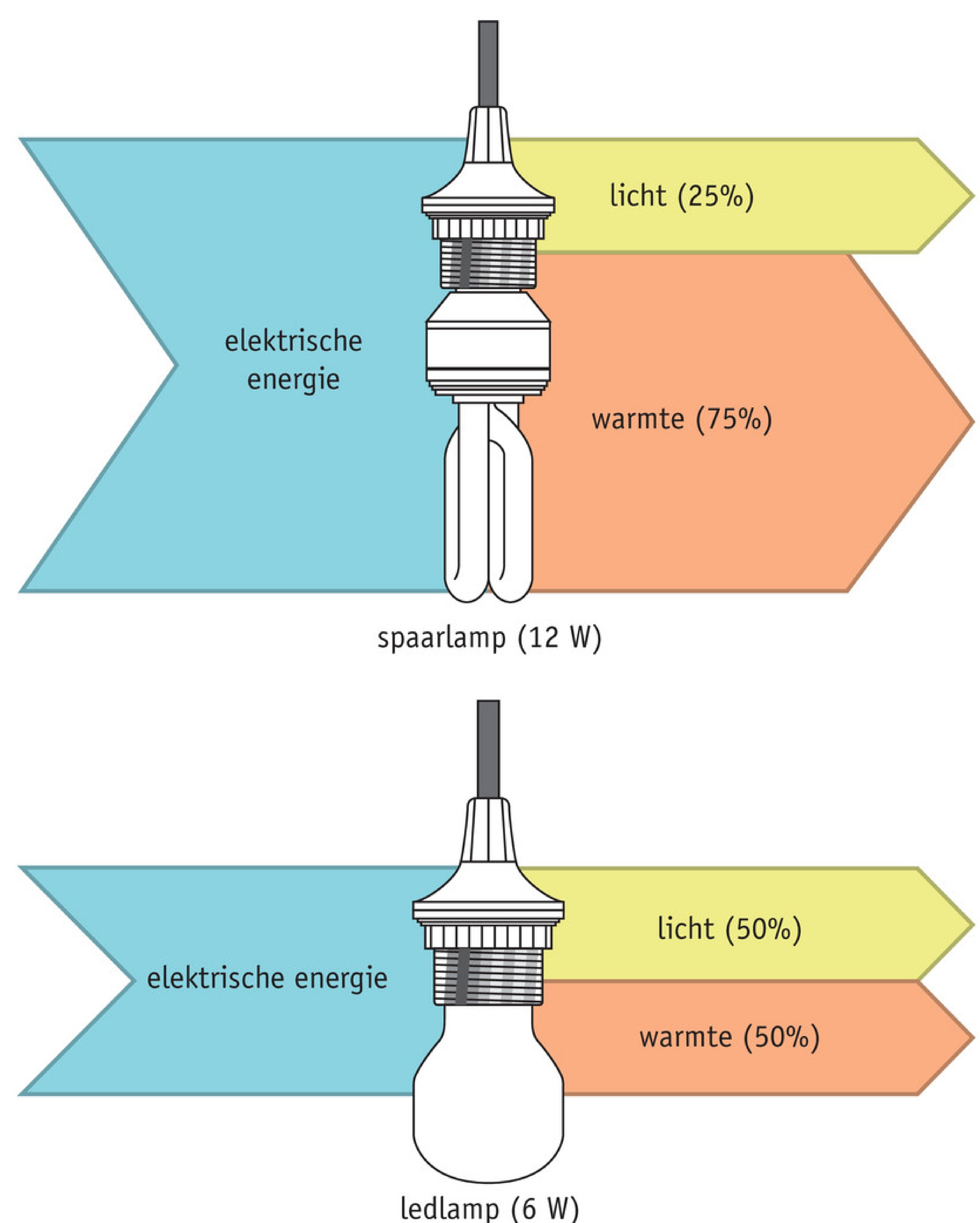
Zuinig zijn met elektrische en chemische energie heeft verschillende voordelen. Je kunt er geld mee besparen, de voorraden aardgas en steenkool raken minder snel op en je helpt om milieuproblemen te verminderen.

ENERGIE BESPAREN

Aan de formule $E = P \cdot t$ kun je zien dat er twee manieren zijn om energie te besparen. Je kunt het vermogen P kleiner maken door energiezuinige apparaten te kopen, zoals een koelkast met energielabel A+++ of een energiezuinige wasdroger. Je kunt ook de tijd t kleiner maken door de apparaten in huis minder vaak of minder lang te gebruiken. Bijvoorbeeld door korter te douchen of door de was aan de waslijn te drogen als het mooi weer is.

Op zich zegt het niet zoveel dat apparaat A een kleiner vermogen heeft dan apparaat B. Zo'n vergelijking heeft alleen zin als de twee apparaten een vergelijkbare prestatie leveren. Je kunt bijvoorbeeld het vermogen vergelijken van twee lampen die evenveel licht geven: een spaarlamp en een ledlamp. Je ziet dan dat een ledlamp een veel kleiner vermogen heeft dan een vergelijkbare spaarlamp.

In figuur 1 zie je de energiestroomdiagrammen van een spaarlamp en een ledlamp. Een spaarlamp zet 25% van de elektrische energie om in licht; de rest wordt omgezet in warmte. Je zegt dat een spaarlamp een **rendement** van 25% heeft. Een ledlamp doet het beter: die zet 50% van de elektrische energie om in licht. Zo'n lamp heeft dus een rendement van 50%.



figuur 1 Twee energiestroomdiagrammen.

HET RENDEMENT BEREKENEN

PROEF 2+3

Je kunt het rendement η (een Griekse letter die je uitspreekt als èta) van een apparaat berekenen met de formule:

$$\eta = \frac{E_{nut}}{E_{tot}} \cdot 100\%$$

Hierin is:

- η het rendement in procent (%);
- E_{nut} de hoeveelheid energie die nuttig wordt gebruikt in joule (J);
- E_{tot} de hoeveelheid energie die in totaal wordt omgezet in joule (J).

E_{nut} is de nuttige energie waar het jou om begonnen is. Bij een lamp is dat de hoeveelheid licht (een vorm van stralingsenergie) die de lamp produceert. E_{tot} is de hoeveelheid energie die het apparaat in totaal omzet. Bij een lamp is dat de verbruikte elektrische energie.

Je krijgt ook een goede uitkomst als je invult:

- hoeveel energie per seconde nuttig wordt gebruikt;
- hoeveel energie per seconde in totaal wordt omgezet.

Energie per seconde is hetzelfde als vermogen. Met andere woorden: je kunt het rendement ook berekenen door het nuttige vermogen te delen door het totale vermogen.

$$\eta = \frac{P_{nut}}{P_{tot}} \cdot 100\%$$

Hierin is:

- η het rendement in procent (%);
- P_{nut} het nuttige vermogen van het apparaat in watt (W);
- P_{tot} het totale vermogen van het apparaat in watt (W).

VOORBEELDOPDRACHT 1

Als de zon volop schijnt, is het ingestraalde vermogen bij een berghut 1000 W/m^2. Een zonnepaneel met een oppervlakte van 1,8 m^2 levert dan een maximaal vermogen van 288 W (figuur 2).
Bereken het rendement van dit zonnepaneel.

gegevens $P_{tot} = 1{,}8 \times 1000 = 1800$ W
$P_{nut} = 288$ W

gevraagd $\eta = ?$

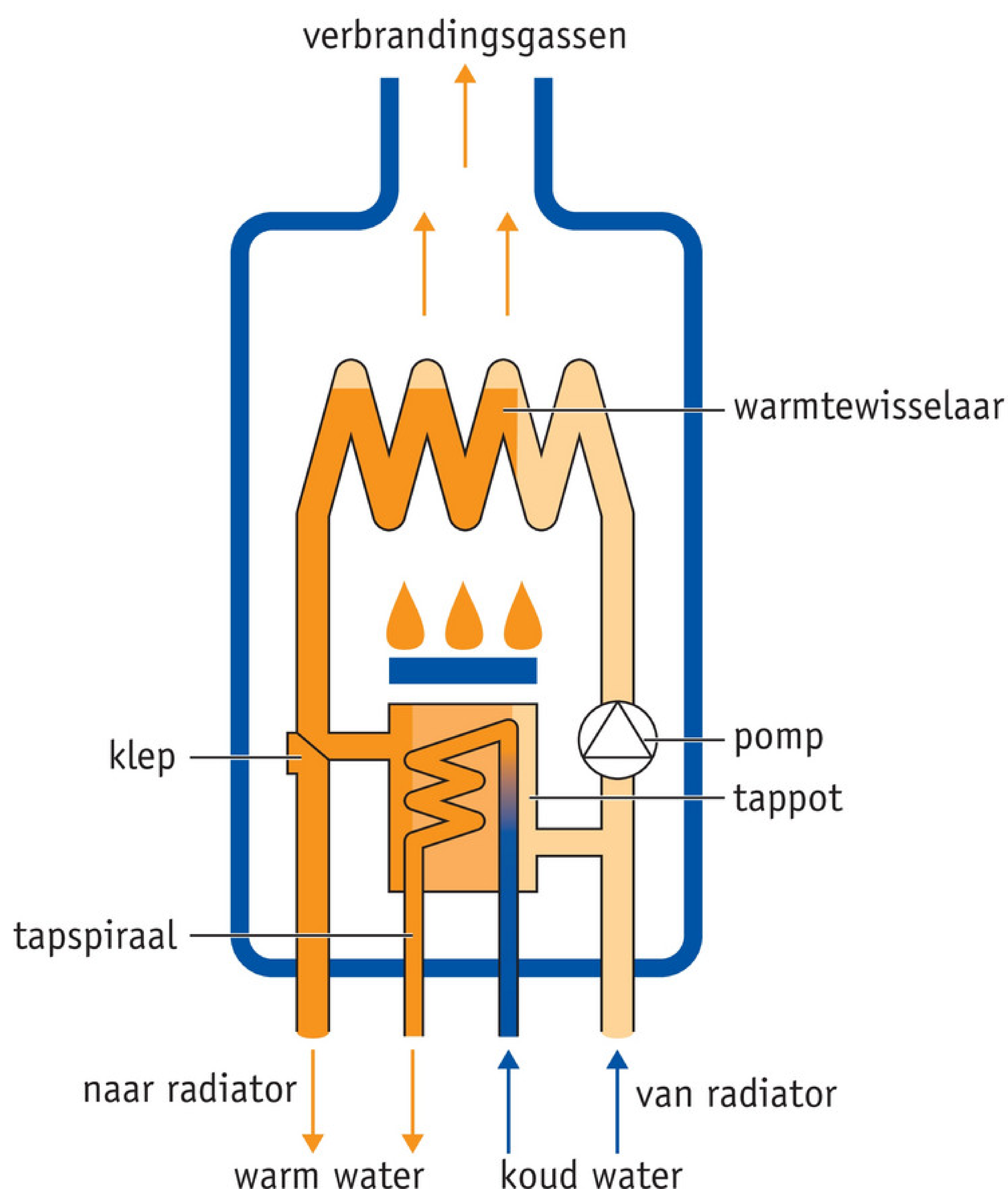
uitwerking $\eta = \frac{P_{nut}}{P_{tot}} \cdot 100\% = \frac{288}{1800} \times 100\% = 16\%$



figuur 2 Het dak van deze berghut biedt ruimte aan drie zonnepanelen van elk 1,8 m^2.

HET RENDEMENT VAN EEN HR-COMBIKETEL

In de verwarmingsketel van een cv-installatie wordt aardgas verbrand (figuur 3). De hete verbrandingsgassen die daarbij ontstaan, stromen langs buizen waar water doorheen stroomt: de warmtewisselaar. Ze staan daarbij een deel van hun warmte aan het water af. De overblijvende warmte verdwijnt met de verbrandingsgassen naar buiten. Door de stand van de klep te veranderen kan water voor de warmwaterkraan en douche in de tappot worden verwarmd.



figuur 3 Een schematisch overzicht van een hr-combiketel.

Om E_{tot} (de totale hoeveelheid energie die is omgezet) van een ketel te bepalen, moet je weten hoeveel warmte het verbrande aardgas heeft geleverd. Om dat te kunnen berekenen heb je twee gegevens nodig: het volume van het aardgas dat is verbrand (in m^3) en de **stookwaarde** van deze brandstof. Het aardgas in Nederland heeft een stookwaarde van 32 MJ/m^3. Dat betekent dat er 32 MJ warmte vrijkomt als je 1 m^3 aardgas verbrandt.

Om E_{nut} (de hoeveelheid nuttig gebruikte energie) te bepalen, moet je weten hoeveel warmte door het water is opgenomen. Om daar achter te komen, meet je de massa *m* en de temperatuurstijging ΔT van het verwarmde water. Daarna kun je de hoeveelheid warmte die het water heeft opgenomen berekenen met $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$.

Als je E_{tot} en E_{nut} kent, kun je ten slotte het rendement van de cv-ketel berekenen. Uit proeven blijkt dat de cv-ketels van vijftig jaar geleden een rendement hadden van ongeveer 65%. Het rendement van een moderne hr-combiketel (hr betekent ‘hoog rendement’) ligt boven de 90%.

VOORBEELDOPDRACHT 2

Een combiketel verbrandt 0,12 m^3 aardgas en verwarmt daarmee 11 L water van 18 °C tot 72 °C (figuur 4).
Bereken het rendement van de combiketel.

1 Bereken E_{tot} = hoeveel warmte het aardgas heeft geleverd.

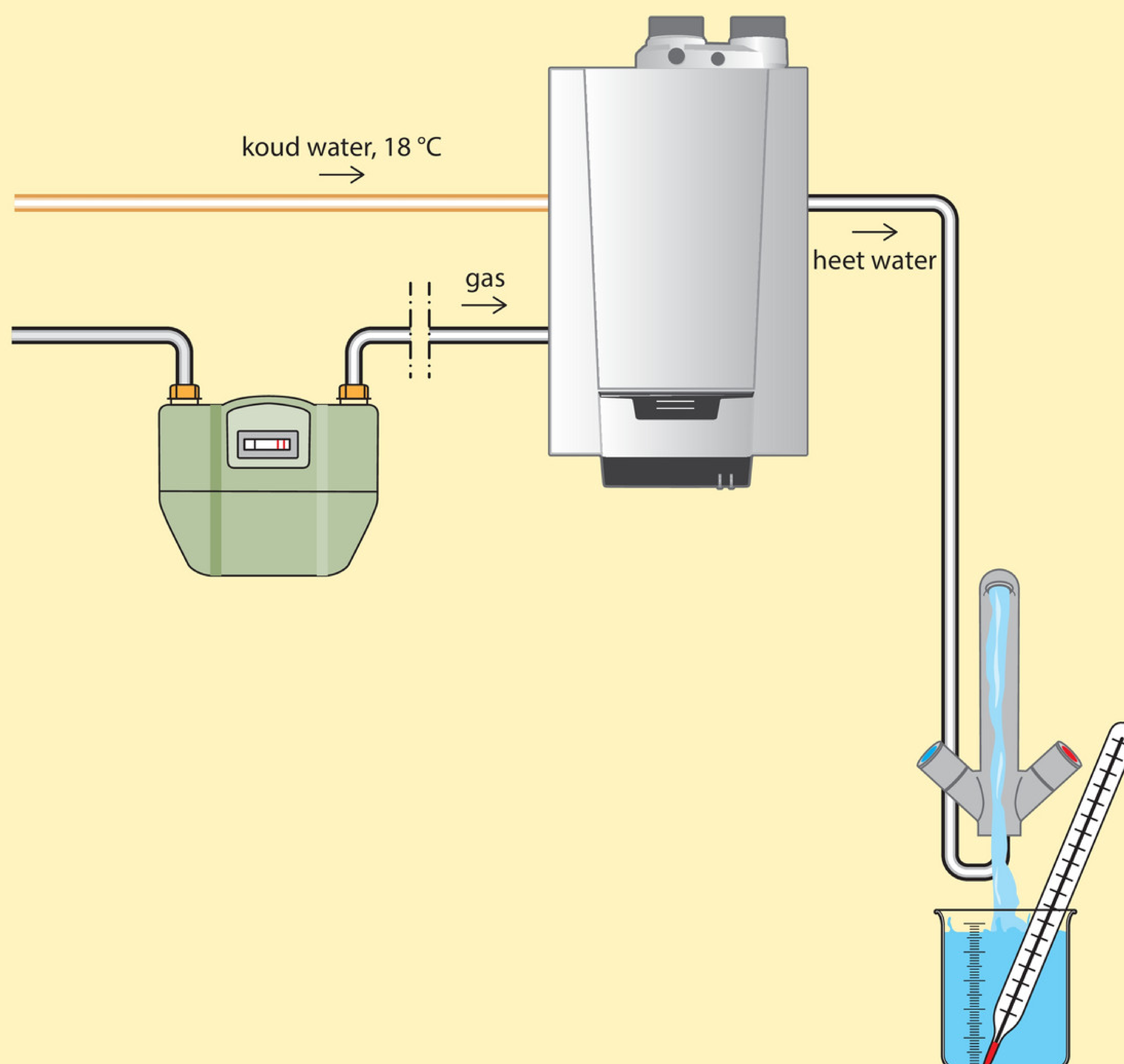
gegevens Er is 0,12 m^3 aardgas verbrand.
De stookwaarde van aardgas is 32 MJ/m^3.
gevraagd $E_{tot} = ?$
uitwerking $E_{tot} = 0{,}12 \times 32 = 3{,}84$ MJ

2 Bereken E_{nut} = hoeveel warmte het water heeft opgenomen.

gegevens De massa *m* van 11 L water = $1{,}1 \cdot 10^4$ g.
De temperatuurstijging ΔT = 72 − 18 = 54 °C.
De soortelijke warmte *c* van water = 4,2 J/(g °C).
gevraagd $E_{nut} = ?$
uitwerking $E_{nut} = Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4{,}2 \times 1{,}1 \cdot 10^4 \times 54$
$= 2{,}49 \cdot 10^6$ J = 2,49 MJ

3 Bereken het rendement van de combiketel.

gegevens $E_{tot} = 3{,}84$ MJ
$E_{nut} = 2{,}49$ MJ
gevraagd $\eta = ?$
uitwerking $\eta = \frac{E_{nut}}{E_{tot}} \cdot 100\% = \frac{2{,}49}{3{,}84} \times 100\% = 65\%$



figuur 4 Zo kun je het rendement van een cv-ketel bepalen.

PLUS RESTWARMTE NUTTIG GEBRUIKEN

Elektriciteitscentrales hebben een rendement van slechts ongeveer 40%. De overige 60% is restwarmte die via een koelsysteem wordt afgevoerd. Bij een centrale met **warmtekrachtkoppeling** wordt ook de restwarmte voor een groot deel nuttig gebruikt, bijvoorbeeld om huizen of kassen in de omgeving van de centrale te verwarmen. Het rendement van de centrale stijgt daarmee tot boven 80%. In 2020 maken ongeveer 410 000 huishoudens in Nederland gebruik van deze stadsverwarming (figuur 5).



figuur 5 Aanleg van stadsverwarming.

Warmtekrachtkoppeling wordt ook veel gebruikt bij fabrieken, die veel warmte én veel 'kracht' nodig hebben. Kracht betekent hier het opwekken van stroom of het aandrijven van machines. De warmte, ook wel **industriële restwarmte** genoemd, kun je vaak in de omgeving nuttig gebruiken. Zo wordt in Aalsmeer de restwarmte van een datacenter gebruikt voor het verwarmen van een zwembad, een kinderopvang en een bedrijf dat potplanten exporteert.



Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Hoe kun je aan de formule $E = P \cdot t$ zien dat je op twee manieren kunt besparen op je energierekening?

b Schrijf in je eigen woorden op wat het 'rendement van een apparaat' betekent.

c Met welke formules kun je het rendement van een apparaat berekenen?

d Wat wordt er bedoeld met 'de stookwaarde van een brandstof'?

2 Om het rendement van een hr-combiketel te bepalen, moet je verschillende metingen met meetinstrumenten doen.

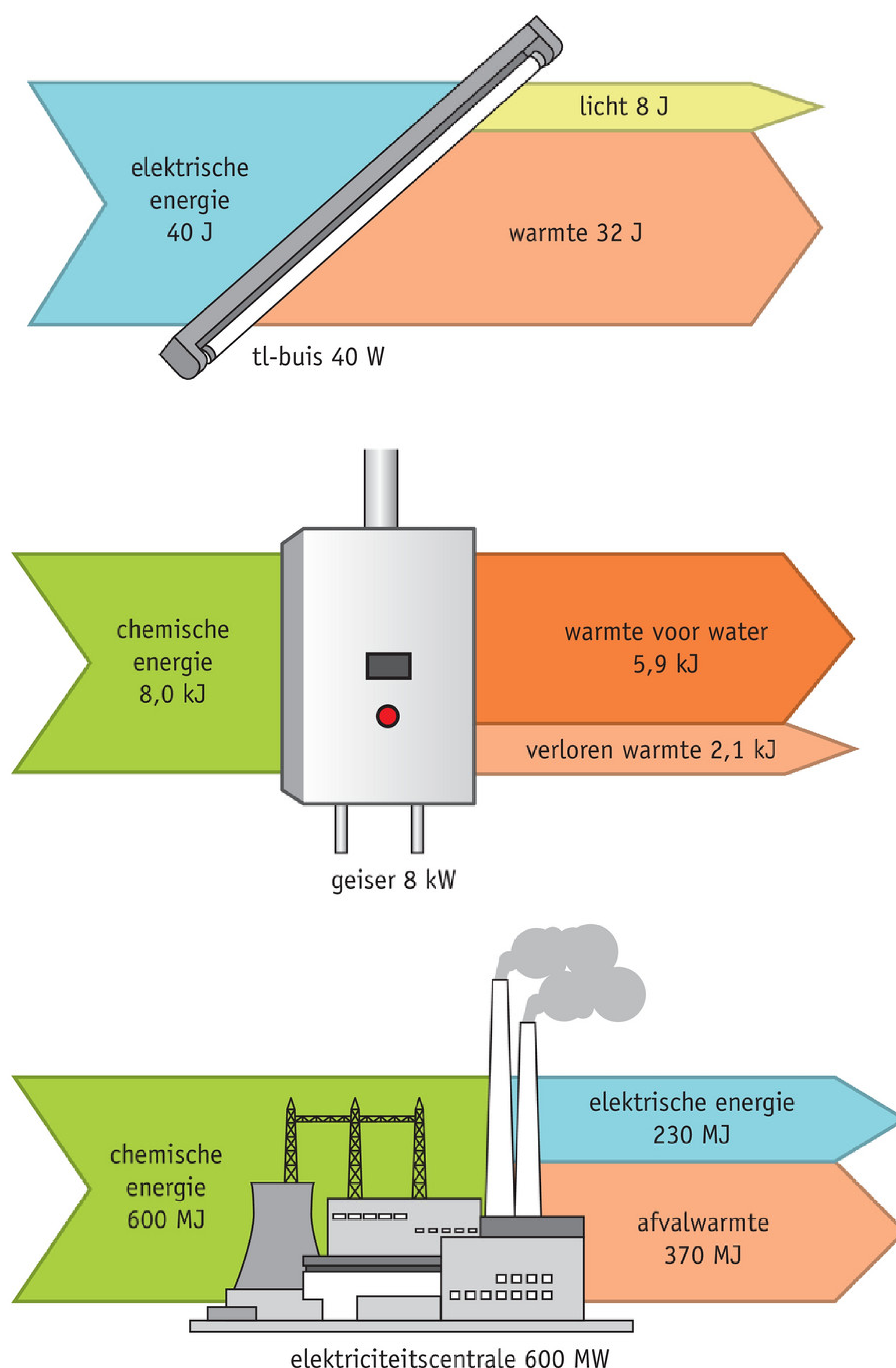
a Met een .... kun je bepalen hoeveel kubieke meter aardgas er is verbrand.

b Met een .... kun je bepalen hoeveel warm water de hr-combiketel heeft geleverd.

c Met een .... kun je bepalen hoeveel dat water in temperatuur is gestegen.

TOEPASSING

3 In figuur 6 zie je drie energiestroomdiagrammen.
Bereken het rendement van elke energieomzetting.



figuur 6 Drie energiestroomdiagrammen.

4 1 m^3 aardgas levert bij verbranding 32 MJ warmte.

a Bereken hoeveel MJ daarvan nuttig wordt gebruikt in een ouderwetse cv-ketel (η = 75%).

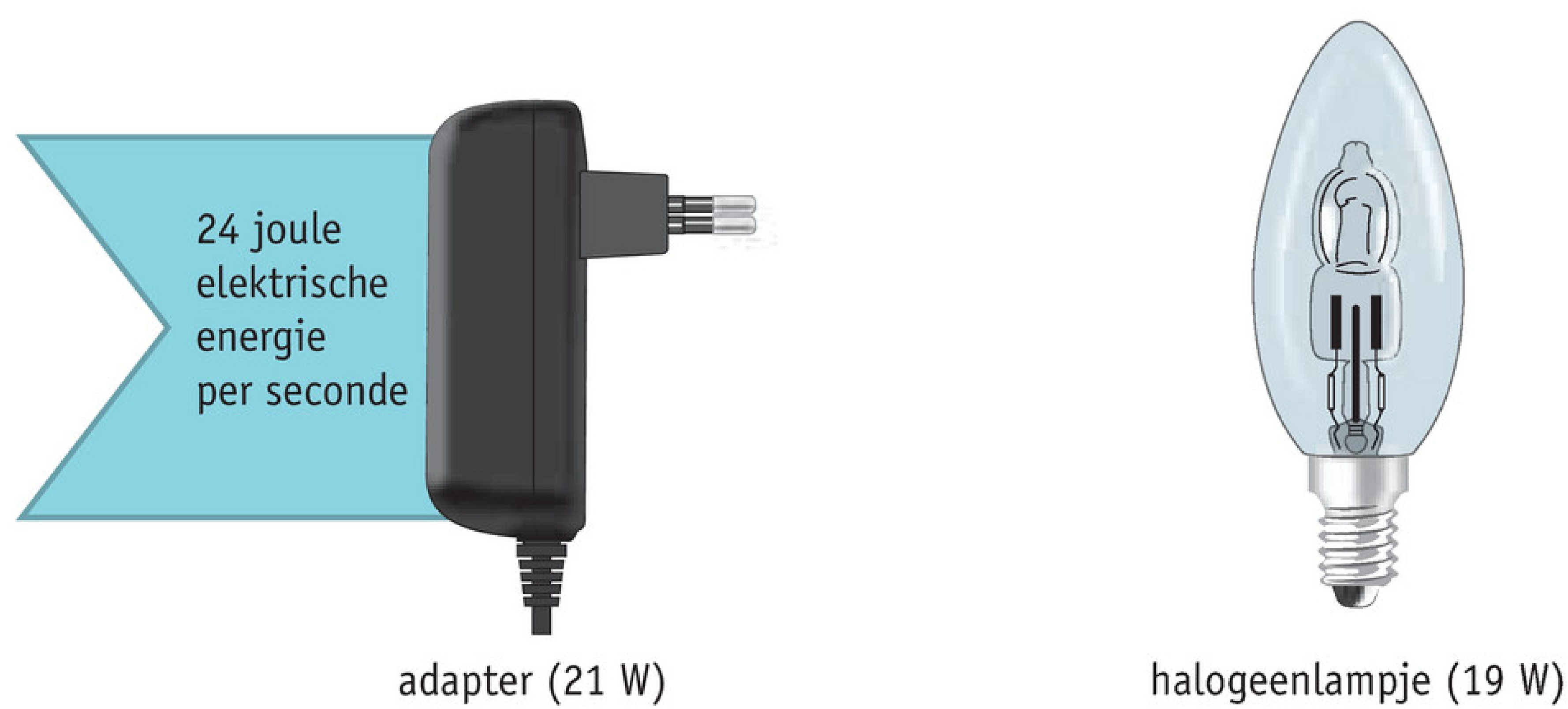
b Bereken hoeveel MJ daarvan nuttig wordt gebruikt in een moderne hr-ketel (η = 93%).

★ 5 In de bureaulamp van Mamud zit een halogeenlampje. Het lampje is via een netadapter aangesloten op het lichtnet. De netadapter neemt 24 W elektrisch vermogen op (bij een spanning van 230 V) en geeft 19 W elektrisch vermogen af (bij een spanning van 12 V).

a Bereken het rendement van de netadapter.

b Wat gebeurt er met de 5 W vermogen die niet nuttig wordt gebruikt? Hoe merk je dat?

c Maak het energiestroomdiagram in figuur 7 af. Geef elke pijl de juiste hoogte.



figuur 7 Het energiestroomdiagram van een netadapter.

d Het lampje heeft een rendement van 25%.
Teken in figuur 7 het energiestroomdiagram van het lampje en de adapter samen.
Licht toe wat je hebt getekend.

e Bereken het rendement van de adapter en de lamp samen.

6 Een combiketel verbrandt 0,30 m^3 aardgas in 10 minuten. In die tijd wordt er 28 L water verwarmd van 15 °C tot 85 °C.

a Bereken hoeveel warmte er bij de verbranding van het aardgas vrijkwam.

b Bereken hoeveel warmte er door het water is opgenomen.

c Bereken het rendement van de combiketel.

★ 7 Een zonnepaneel kan de meeste stralingsenergie opvangen als het zonlicht loodrecht op het zonnepaneel invalt. In Nederland kan het opgenomen vermogen dan oplopen tot maximaal 1,0 kW/m^2.

a In welk jaargetijde en op welk moment van de dag is het opgenomen vermogen het grootst?

b Meestal is het opgenomen vermogen veel lager dan 1,0 kW/m^2.
Noem daarvoor twee oorzaken.

c Een zonnepaneel heeft een oppervlakte van 8,0 m^2 en een rendement van 15%.
Bereken het maximale elektrisch vermogen in kW dat het zonnepaneel levert.

d Volgens het KNMI schijnt de zon in Nederland ongeveer 1500 uur per jaar. Dat is genoeg voor een jaaropbrengst van 95 kWh elektrische energie per m^2 zonnepaneel.
Bereken met deze gegevens hoe groot het gemiddelde opgenomen vermogen per m^2 is.

8 Een elektrische flessenwarmer heeft een vermogen van 80 W. Het duurt 8,5 min voor de temperatuur van 200 g water in de zuigfles is gestegen van 7 °C tot 37 °C.

a Bereken het rendement van de flessenwarmer. Schrijf de hele berekening op.

b Bedenk zelf twee oorzaken voor dit lage rendement.

9 In figuur 8 zie je een gedeelte van een folder over warmtepompdrogers.

a Noem twee argumenten om voor een warmtepompdroger te kiezen.

b De katoen-droogprogramma's van de warmtepompdroger en de condensdroger duren bijna even lang.
Leg uit welke van de twee wasdrogers het grootste opgenomen vermogen heeft.

c Welke manier om de was te drogen is nog milieuvriendelijker dan zo'n warmtepompdroger?

Warmtepompdrogers: superzuinig!



Wasdrogers zijn in ons regenachtige land een zegen, maar ze hebben een grote elektriciteits-eetlust. Uw energierekening kan ervan meepraten. Om dit bezwaar te verminderen, is de warmtepompdroger ontwikkeld, want deze gaat heel zuinig om met energie. Bij een gemiddeld gebruik van vier droogbeurten per week bespaart u zo jaarlijks twee derde aan energiekosten ten opzichte van een condenswasdroger.

figuur 8 Reclame voor wasdrogers.

PLUS RESTWARMTE NUTTIG GEBRUIKEN

10 Vaak worden alle huizen in een nieuwbouwwijk op stadsverwarming aangesloten.

a Leg uit waarom in de keukens van deze huizen elektrisch zal worden gekookt in plaats van op een gasfornuis.

b In 2014 is een wet aangenomen waarin onder andere staat wat stadsverwarming mag kosten.
Leg uit waarom het belangrijk is om hier wetgeving over te hebben.

c Leg uit waarom de elektriciteitscentrale die voor de stadsverwarming zorgt, daarnaast ook nog een installatie moet bouwen om de afvalwarmte met koelwater af te voeren.

11 In Aalsmeer wordt een zwembad verwarmd met industriële restwarmte.

a Bereken met behulp van schattingen hoeveel energie er nodig is om het water van een zwembad (wedstrijdbad, 50 m × 25 m × 2,0 m) van 15 °C naar 27 °C te verwarmen.

b Gas kost € 0,75 per m^3. Het verbranden van 1,0 m^3 gas levert een energie van 32 MJ.
Bereken hoeveel m^3 gas er wordt bespaard, nu dit verwarmen (opdracht a) met industriële restwarmte plaatsvindt. Met welk bedrag in euro komt dit overeen?

c Elektrische energie kost € 0,23 per kWh.
Hoeveel geld zou het verwarmen (opdracht a) met elektrische energie kosten?

d Leg aan de hand van je antwoorden bij opdracht a, b en c uit waarom juist voor een zwembad industriële restwarmte een mooie oplossing kan zijn.

Practica

PROEF 1 DE SOORTELIJKE WARMTE VAN WATER

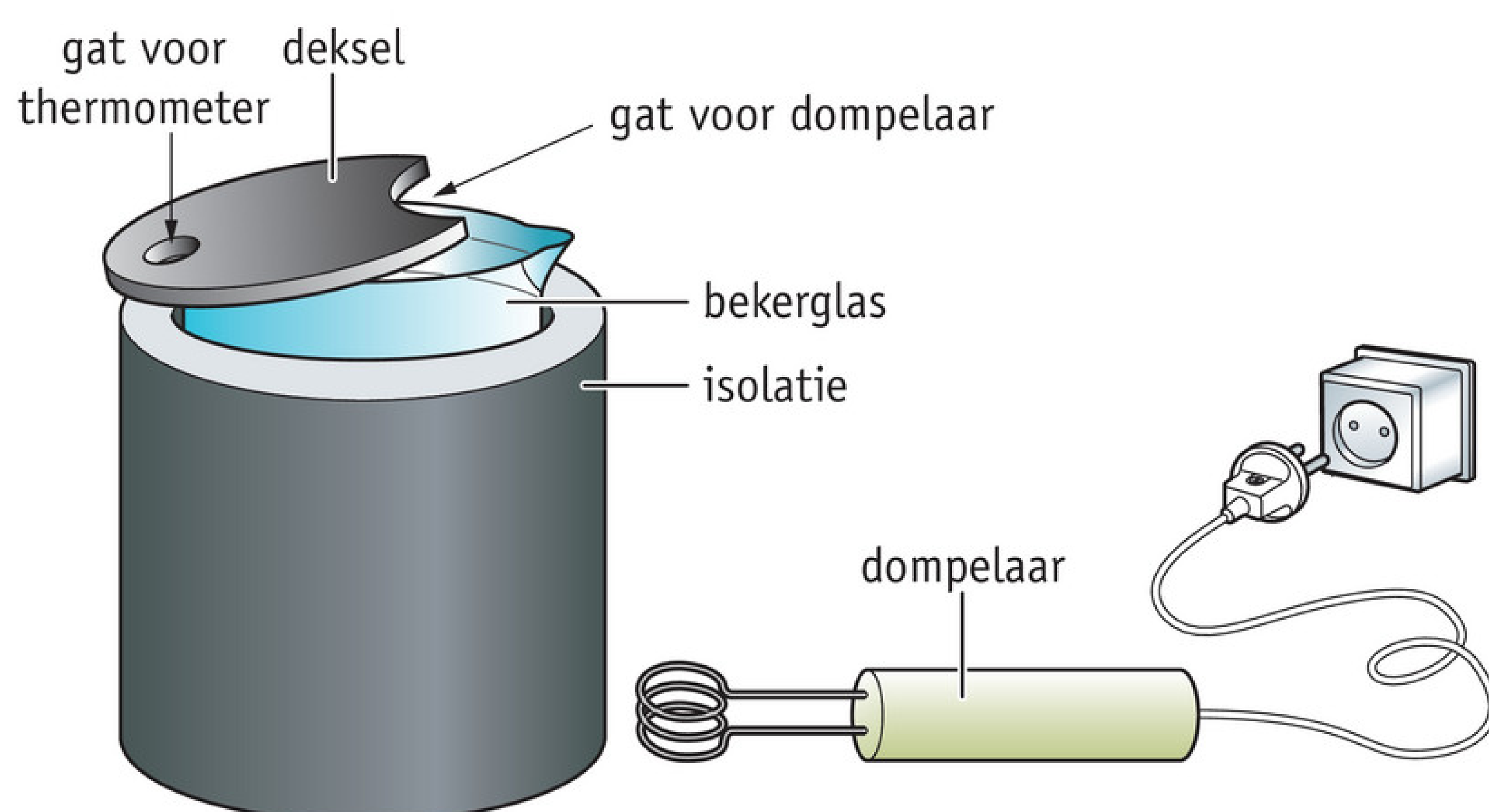
30 minuten

Inleiding
De hoeveelheid warmte die nodig is om 1 g van een stof 1 °C in temperatuur te laten stijgen, noem je de soortelijke warmte van die stof.

Doel
Je bepaalt de soortelijke warmte van water.

Nodig
- ☐ warmtemeter of geïsoleerd bekerglas (500 mL) met deksel
- ☐ thermometer
- ☐ dompelaar
- ☐ maatcilinder
- ☐ stopwatch

Uitvoeren en uitwerken
Meten
- Vul het bekerglas zo precies mogelijk met 500 mL water.
- Zet de dompelaar in het water, maar sluit hem nog niet aan. Sluit het bekerglas af met het deksel (figuur 1).
- Meet de begintemperatuur van het water.
- Sluit de dompelaar aan. Meet hoeveel tijd er nodig is om de 500 mL water 20 °C in temperatuur te laten stijgen.



figuur 1 De opstelling van proef 1.

1 Noteer het vermogen van de dompelaar, de begintemperatuur en de benodigde tijd.

....

....

....

....

- Haal de stekker na de proef meteen uit het stopcontact.

Uitwerken

2 Bereken met de formule $E = P \cdot t$ hoeveel warmte de dompelaar heeft afgegeven.

....

....

....

3 Bereken de soortelijke warmte c van water met de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$.

....

....

....

4 Vergelijk de uitkomst met de waarde die in paragraaf 2 staat vermeld.
Hoe groot is het verschil?

....

5 Leg uit waarom de proef zoals jij hem hebt uitgevoerd, waarschijnlijk een te hoge waarde voor de soortelijke warmte oplevert.

....

....

....

....

6 Hoe zou je de soortelijke warmte van water nauwkeuriger kunnen bepalen? Beschrijf wat je daarvoor aan de proef zou moeten veranderen.

....

....

....

....

....

PROEF 2 HET RENDEMENT VAN EEN WAXINELICHTJE

30 minuten

Inleiding

Met een waxinelichtje kun je water verwarmen. Een deel van de warmte van het lichtje komt dan in het water terecht. Een ander deel van de warmte gaat verloren. Het rendement van deze manier van verwarmen is dus zeker geen 100%. Maar hoeveel dan wel? Dat onderzoek je bij deze proef.

Doel

De onderzoeksvraag is:
Hoe groot is het rendement als je water met een waxinelichtje verwarmt?

Nodig

- ☐ driepoot
- ☐ keramische driehoek
- ☐ bekerglas (100 mL)
- ☐ maatcilinder
- ☐ thermometer
- ☐ weegschaal
- ☐ waxinelichtje
- ☐ lucifers
- ☐ een onbrandbaar voorwerp waarop het waxinelichtje kan staan

Uitvoeren en uitwerken

Voorbereiden

Een brandend waxinelichtje wordt steeds lichter. Dat komt doordat de verbrandingsproducten waterdamp en koolstofdioxide gasvormig zijn en door het hele lokaal worden verspreid. Door het waxinelichtje voor en na de proef te wegen, kun je bepalen hoeveel gram brandstof er is verbrand.

Meten

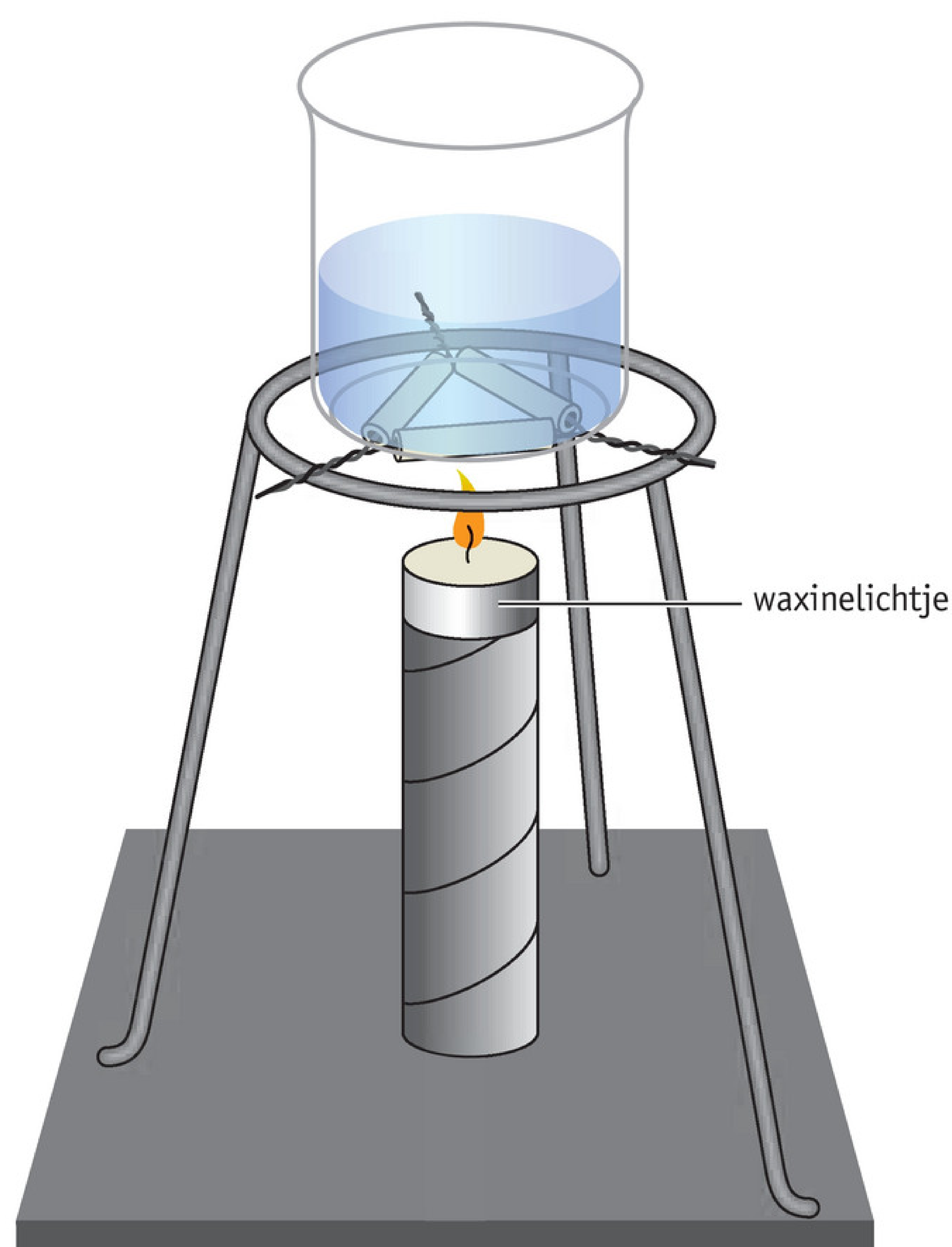
- Bepaal de beginmassa van het waxinelichtje.
- Doe 50 mL water in het bekerglas.
- Meet de temperatuur van het water.

1 Noteer de beginmassa en de begintemperatuur.

....

....

- Maak de opstelling van figuur 2. Steek het waxinelichtje aan.
- Roer af en toe met de thermometer.
- Meet na zes minuten opnieuw de temperatuur van het water.
- Blaas het waxinelichtje voorzichtig uit.
- Bepaal opnieuw de massa van het waxinelichtje.



figuur 2 De opstelling van proef 2.

2 Noteer de eindmassa en de eindtemperatuur.

....

....

Uitwerken

3 Als er 1,0 g van het waxinelichtje verbrandt, levert dat 40 kJ warmte op.
Bereken hoeveel warmte het waxinelichtje heeft geleverd.

....

....

....

4 Zoek in de theorie de soortelijke warmte van water op.
Bereken hoeveel warmte het water heeft opgenomen.

....

....

....

5 Bereken met je antwoorden op opdracht 3 en 4 het rendement.

....

....

....

6 Vergelijk jouw rendement met het rendement van je medeleerlingen.
Waardoor komt het dat iedereen een andere waarde heeft?

....

....

....

....

7 Op welke manieren zou je het rendement van het waxinelichtje kunnen verbeteren?

....

....

....

....

PROEF 3 DE SPANNING VAN EEN ZONNEPANEEL

45 minuten

Inleiding
Stel je voor, een zonnepaneel levert de meeste spanning (en elektrische energie) als hij precies op de zon is gericht. Als de richting van de ideale richting afwijkt, is de spanning lager. Een energiebedrijf wil zijn klanten precies kunnen vertellen hoe de richting de opbrengst van de zonnepanelen beïnvloedt. Jij bent bij deze opdracht de onderzoeker die de benodigde gegevens moet verzamelen.

Doel
Hoeveel lager wordt de spanning? Dat onderzoek je bij deze proef. De onderzoeksvraag luidt:
Wat is het verband tussen de richting waarin een zonnepaneel staat opgesteld, en de spanning die het zonnepaneel levert?

Nodig
Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken
- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ziet je proefopstelling eruit, wat ga je precies meten, hoe zorg je ervoor dat je metingen herhaalbaar en dus controleerbaar zijn?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.
- De werkplannen worden de volgende les met de klas besproken. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
- Voer daarna het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.
- Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

De volgende proef staat in de online leeromgeving. Je docent beslist of de proef wordt uitgevoerd.

PROEF 4 WARMTEGELEIDING

15 minuten

Inleiding
Je gaat onderzoeken hoe goed stoffen warmte geleiden.

Duurzaam geproduceerde energie opslaan



Nu er steeds meer elektrische energie wordt opgewekt met zonnepanelen en windturbines, werken veel onderzoekers en bedrijven aan slimme oplossingen voor het opslaan van deze duurzaam geproduceerde energie. De eerste megabatterijen staan al opgesteld in Australië en de Verenigde Arabische Emiraten. Ook wordt er druk gewerkt aan de eerste testfabrieken voor het maken van zonnebrandstoffen.

De productie van duurzame elektriciteit is afhankelijk van de beschikbaarheid van zon en wind. Bij windstil en bewolkt weer kan de stroomvoorziening in gevaar komen en worden elektriciteitscentrales ingeschakeld die op fossiele brandstoffen werken. Te veel wind kan echter ook problemen opleveren. Op eerste kerstdag 2015 was de wind in Oost-Duitsland plotseling veel harder dan voorspeld. Op dat moment leverden de windmolens in dat gebied 12 GW, drie keer zoveel als de Oost-Duitsers zelf verbruikten. Het overschot moest via hoogspanningsleidingen snel naar andere gebieden worden getransporteerd om te voorkomen dat in een groot gebied de elektriciteit door overbelasting zou uitvallen. Daarom zakte de elektriciteitsprijs op de handelsbeurs op dat moment van 40 €/MWh tot een negatieve prijs van −120 €/MWh. Wie op dat moment veel stroom kon gebruiken, kreeg geld toe. Een heel nauwkeurige weersvoorspelling wordt dus steeds belangrijker, liefst op een tijdschaal van minuten.

Een manier om tekorten en overschotten in de energievoorziening te voorkomen is het opslaan van duurzame energie. Grootschalige opslag van elektrische energie is een belangrijk onderdeel van de energietransitie.

MEGAGROTE BATTERIJEN

In een groot deel van Zuid-Australië viel in 2016 en 2017 de elektriciteit een paar keer uit, veroorzaakt door storm en hitte. De Australische regering besloot iets te doen en vroeg bedrijven om met duurzame oplossingen te komen voor het opslaan van ten minste 100 megawattuur (MWh) elektrische energie (de capaciteit). Het bedrijf Tesla, bekend van elektrische auto's, beloofde dit klusje binnen honderd dagen te klaren. Tesla kreeg de opdracht

en bouwde binnen drie maanden de Powerpack, een megabatterij met een vermogen van 100 MW en een capaciteit van 129 MWh. De Powerpack staat opgesteld bij een windmolenpark in de buurt van Jamestown (figuur 1). Hij is de grootste lithium-ionbatterij op aarde, die wordt opgeladen als er te veel elektrische energie wordt geproduceerd. De batterij levert energie als de vraag groter is dan de productie van de windturbines van het windmolenpark. In het warme klimaat van Zuid-Australië moet de megabatterij wel worden gekoeld om de levensduur te verlengen.



figuur 1 De Powerpack lithium-ionbatterij van Tesla in Zuid-Australië.

Dit accupark is een groot succes. Het zorgde er in de eerste vier maanden van 2018 voor dat de kosten voor het opvangen van stroomstoringen enorm daalden. Een elektriciteitscentrale op fossiele brandstoffen die werd gebruikt om tekorten aan duurzaam opgewekte elektriciteit op te vangen werd overbodig. Bovendien kan de megabatterij sneller worden ingeschakeld dan een centrale en veroorzaakt het accupark geen uitstoot van koolstofdioxide. Na een jaar was er van de totale kosten van 66 miljoen dollar voor de bouw van de Powerpack al 60% terugverdiend.

In 2019 is in Abu Dhabi ook een mega-installatie van batterijen gebouwd, met een totaal vermogen van 108 MW en een capaciteit van 648 MWh. Deze installatie bestaat uit natrium-zwavelbatterijen. Die worden gemaakt van goedkope grondstoffen, maar zijn wel een stuk groter dan lithium-ionbatterijen. In figuur 2 staan natrium-zwavelbatterijen die onbeperkt kunnen worden geladen en ontladen zonder dat de levensduur vermindert, zolang ze maar worden verwarmd tot 300 °C.

"Deze snelle technologie kan de stabiliteit van het elektriciteitsnet sterk verbeteren."



figuur 2 Grote natrium-zwavelbatterijen.

DUURZAME KEROSINE

In Duitsland is de energietransitie een stuk verder dan in Nederland. In 2019 werd hier al meer dan 50% van de elektrische energie duurzaam opgewekt door windmolens en zonnepanelen. Dat lijkt heel wat, maar van alle energie die wordt verbruikt, is slechts twintig procent elektrisch. Het is belangrijk dat er ook wordt gewerkt aan een duurzame vorm van brandstoffen voor auto's, vrachtwagens, schepen en vliegtuigen.

Auto's kunnen op elektrische energie rijden, dat zie je steeds vaker op de weg. Maar grote vliegtuigen die op zonnepanelen of een accu werken, bestaan voorlopig alleen nog maar in sciencefiction. Daarom is er een plan gemaakt voor de productie van duurzame kerosine voor Schiphol. Als je koolstofdioxide uit de lucht met behulp van duurzame elektriciteit om kunt zetten in kerosine, dan zou een vliegtuig daarmee CO_2-neutraal vliegen. Technisch is dat lastig, maar koolstofdioxide wegvangen bij de industrie kan wel. Als je dat doet, produceert de industrie geen koolstofdioxide meer die in de atmosfeer verdwijnt. Dat gebeurt pas later als het vliegtuig vliegt. Omdat daarvoor dan geen fossiele brandstoffen nodig zijn, is de vermindering van de koolstofdioxide-uitstoot 50%.



figuur 3 De hoogovens in Velsen.

In 2018 berekende het bedrijf Quintel Intelligence dat de totale hoeveelheid koolstofdioxide die de hoogovens in Velsen (figuur 3) uitstoten (9 megaton per jaar, 1 ton is 1000 kg) voldoende is om duurzame kerosine te maken voor de helft van alle vliegtuigen op Schiphol (figuur 4). Daarnaast zijn elektriciteit en waterstof nodig, die worden geproduceerd door windparken op de Noordzee.
Een samenwerkingsverband van onderzoekers en bedrijven wil hier graag een testfabriek voor bouwen. Daarmee kunnen verschillende stappen in het productieproces worden bestudeerd en geoptimaliseerd. Een echt duurzame kerosinefabriek zou dan in 2030 met de productie kunnen starten. Het gebruik van duurzame kerosine zal een vliegticket nauwelijks duurder maken. Met dit onderzoek kan Nederland koploper in de ontwikkeling van duurzame brandstoffen worden.

Zonnebrandstoffen

Brandstoffen die zijn geproduceerd met behulp van duurzame elektriciteit noem je zonnebrandstoffen. Als je koolstofdioxide uit de atmosfeer en water gebruikt voor het maken van een brandstof, dan zijn dit ook weer de producten na verbranding van de brandstof. Zo is de kringloop rond.
Het maken van kerosine als zonnebrandstof gebeurt als volgt:

1. Elektrolyse: water wordt met behulp van duurzame elektrische energie gesplitst in waterstof en zuurstof (de zuurstof wordt verder niet gebruikt). Het kost in theorie 144 MJ om op deze manier 1,0 kg waterstof te maken. In de praktijk is het rendement van dit proces van de beste installaties maximaal 70%.
2. Koolstofdioxide verzamelen. Koolstofdioxide uit de lucht halen kost veel energie. Het is gemakkelijker om het gas te winnen bij een industriële installatie, zoals de hoogovens. Het afvangen van 1,0 kg koolstofdioxide kost dan 0,9 MJ.
3. Koolstofdioxide omzetten met behulp van waterstof in koolstofmonoxide. Het maken van 1,0 kilo koolstofmonoxide uit 1,6 kg koolstofdioxide kost 2,2 MJ.
4. Met koolstofmonoxide en waterstof wordt kerosine gemaakt. Dit gebeurt nu ook al op grote schaal.



figuur 4 In de toekomst tankt dit vliegtuig duurzaam geproduceerde kerosine.

OPDRACHTEN

1 In tabel 1 staan verschillende gegevens over lithium-ionbatterijen.

tabel 1 Gegevens over lithium-ionbatterijen.

lithium-ionbatterij	
bronspanning	3,6-3,7 V
laad/ontlaadefficiëntie	80-92%
zelfontlading	5-10%/maand
capaciteitsverlies na 1 jaar (25 °C)	2-20%
capaciteitsverlies na 1 jaar (40 °C)	15-35%

a Leg met behulp van de gegevens in tabel 1 uit waarom lithium-ionbatterijen niet geschikt zijn als je drie maanden lang elektrische energie wilt opslaan.

b De term 'laad/ontlaadefficiëntie' geeft aan wat het rendement van de opslag van elektrische energie in een lithium-ionbatterij is.
Leg met behulp van de gegevens in tabel 1 uit waarom het rendement van Tesla's gloednieuwe Powerpack in Zuid-Australië minder groot zal zijn dan 92%.

2 Noem voordelen en nadelen van de natrium-zwavelbatterijen in Abu Dhabi in vergelijking met de Powerpack in Zuid-Australië.

3 Voor de productie van 1,0 kg kerosine uit 2,0 kg koolstofmonoxide en 0,30 kg waterstof is 0,9 MJ nodig.

a Bereken de hoeveelheid energie die nodig is voor de productie van 1,0 kg kerosine. Bereken hiervoor eerst de energie die nodig is voor de vier stappen bij het maken van duurzame kerosine.

b Het windpark bij IJmuiden dat voor de duurzame elektrische energie gaat zorgen, levert gemiddeld een vermogen van 10 GW.
Hoeveel kg kerosine kun je hiermee per seconde maken?

c Hoeveel koolstofdioxide kan daardoor per seconde worden omgezet met de duurzame energie van het windpark? Hoeveel is dat per jaar?

d De hoogovens in Velsen stoten 9,0 megaton koolstofdioxide per jaar uit.
Hoeveel van het vermogen van het windpark van 10 GW wordt maximaal gebruikt voor het maken van kerosine?

e In 2018 was in Nederland het totale vermogen van alle installaties die elektriciteit opwekken ongeveer 30 GW.
Geef op basis van dit gegeven en je antwoord op opdracht d je mening over de haalbaarheid van het maken van kerosine met de energie van dit windpark.

Leerstofoverzicht

3.1 ENERGIEBRONNEN

ONTHOUD

- Een energiebron is alles wat een bruikbare soort energie kan leveren.
- Energiebronnen die in Nederland worden gebruikt zijn: fossiele brandstoffen, biomassa, wind, kernsplijting, zon en aardwarmte.
- De ideale energiebron is onuitputtelijk, altijd beschikbaar, milieuvriendelijk en goedkoop.
- De overschakeling van niet-duurzame naar klimaatneutrale energiebronnen heet energietransitie.
- De energietransitie heeft vier kenmerken: duurzame energiebronnen, efficiënt energiemanagement, grootschalige energieopslag en lokale productie van energie.

BEGRIPPEN

aardwarmte
Warmte die uit diepe aardlagen afkomstig is.

bewegingsenergie
Energie die bewegende voorwerpen hebben als gevolg van het feit dat ze een snelheid hebben.

biomassa
Materiaal dat van planten en dieren afkomstig is en als energiebron wordt gebruikt.

chemische energie
Energie die in brandstoffen zit.

energiebron
Alles wat een bruikbaar soort energie kan leveren.

energietransitie
De overgang van niet-duurzame energiebronnen naar duurzame, klimaatneutrale energiebronnen.

fossiele brandstof
Een brandstof zoals aardolie, aardgas en steenkool, die is ontstaan uit de resten van planten en dieren.

stralingsenergie
Energie van de straling die een voorwerp uitzendt, zoals de energie van het licht van de zon.

warmtewisselaar
Apparaat waarin warmte wordt overgedragen van de ene naar de andere stof.

windturbine
Moderne windmolen die elektrische energie produceert.

zonnecel
Onderdeel van zonnepanelen dat de stralingsenergie van zonlicht omzet in elektrische energie.

zonnecollector
Apparaat dat de stralingsenergie van zonlicht omzet in warmte, waarmee water wordt verhit.

3.2 VERWARMEN

ONTHOUD

- In een energiestroomdiagram geef je weer welke energiesoort(en) een apparaat opneemt en welke energiesoort(en) hij afgeeft. De hoeveelheid energie is voor en na omzetting altijd gelijk.
- Warmte is een vorm van energie met een lagere kwaliteit dan bijvoorbeeld chemische energie of elektrische energie.
- De temperatuur hangt af van de gemiddelde snelheid waarmee moleculen bewegen. Hoe sneller de moleculen bewegen, des te hoger is de temperatuur.
- De hoeveelheid energie die nodig is om een hoeveelheid stof te verwarmen tot een bepaalde temperatuur bereken je met de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$. Hierin is c de soortelijke warmte van die stof.

BEGRIPPEN

elektrische energie
Energie die door spanningsbronnen wordt geleverd, zoals batterijen en dynamo's.

energieomzetting
Proces waarbij de ene soort energie verandert in een andere soort energie.

energiestroomdiagram
Schematische weergave van een energieomzetting.

kwaliteit
Waarde. De kwaliteit van een energiesoort is de bruikbaarheid van die energiesoort.

kwantiteit
Hoeveelheid.

soortelijke warmte
De hoeveelheid warmte die nodig is om 1 g van een stof 1 °C in temperatuur te laten stijgen.

warmte
Vorm van energie die de bewegingssnelheid van moleculen in een stof vergroot.

warmtebron
Apparaat dat warmte levert.

warmtemeter
Apparaat waarmee je kunt meten hoeveel warmte nodig is voor het verwarmen van een bepaalde hoeveelheid water.

wet van behoud van energie
Regel die stelt dat er bij een energieomzetting geen energie verloren gaat.

3.3 ISOLEREN

ONTHOUD

- Een huis verliest warmte aan de omgeving als de binnentemperatuur hoger is dan de buitentemperatuur.
- Het warmteverlies kan plaatsvinden door geleiding, stroming en straling.
- Warmteverlies uit een huis kun je beperken door geleiding, stroming en straling te verminderen of te voorkomen.
- Bij een dynamisch evenwicht tussen warmteproductie en warmteverlies stelt zich steeds opnieuw een evenwicht in, als de warmteproductie of het warmteverlies verandert.
- Je kunt de hoeveelheid warmte die per seconde door een muur verdwijnt, berekenen met de formule: $Q_w = U \cdot A \cdot \Delta T$
- Een huis kun je isoleren door hr++ en hr+++ glas te gebruiken in plaats van enkel- of dubbelglas. Muren, daken en vloeren kun je isoleren door er materialen tegenaan te brengen die veel stilstaande lucht bevatten.

BEGRIPPEN

dynamisch evenwicht
Evenwicht dat zich na elke verstoring vanzelf opnieuw instelt, zoals het evenwicht tussen warmteproductie en warmteverlies in een woonhuis.

geleiding
Proces waarbij warmte zich door een stilstaande stof heen verspreidt.

isolatie
Maatregelen die je kunt nemen om het warmteverlies (van een woonhuis) te beperken.

straling
Proces waarbij warmte wordt verspreid door straling (kleine pakketjes stralingsenergie).

stroming
Proces waarbij een vloeistof of gas in beweging komt en zo de warmte meeneemt.

3.4 RENDEMENT

ONTHOUD

- Het energieverbruik van een apparaat kun je verkleinen door het vermogen van het apparaat te verkleinen of de tijdsduur dat het apparaat aanstaat te verkleinen.
- Door energiestroomdiagrammen te maken van twee apparaten die een vergelijkbare prestatie leveren, is het mogelijk het energieverbruik van beide apparaten te vergelijken.
- Het rendement van een apparaat kun je berekenen door de energie die het apparaat omzet te vergelijken met de energie die nuttig wordt gebruikt. In formulevorm:

$$\eta = \frac{E_{nut}}{E_{tot}} \cdot 100\%$$

- Het rendement van een apparaat kun je berekenen door het vermogen van het apparaat te vergelijken met het vermogen dat nuttig wordt gebruikt. In formulevorm:

$$\eta = \frac{P_{nut}}{P_{tot}} \cdot 100\%$$

- De energie die het verbranden van een bepaalde hoeveelheid brandstof oplevert, bereken je door de stookwaarde te vermenigvuldigen met de hoeveelheid brandstof.

BEGRIPPEN

rendement
De hoeveelheid energie die nuttig wordt gebruikt als percentage van het totaal aan energie dat wordt omgezet.

stookwaarde
Warmte die vrijkomt als een bepaalde hoeveelheid brandstof wordt verbrand.



Ga naar de *Flitskaarten* en de *Diagnostische toets*.

Vaardigheden

GEGEVENS VERZAMELEN EN VERWERKEN

Bij het vak natuurkunde gaat het zowel om kennis (wat je weet) als om vaardigheden (wat je kunt). Bij die vaardigheden horen onder andere het bouwen van proefopstellingen, het verzamelen van meetgegevens, het uitvoeren van berekeningen en het tekenen van grafieken. In dit deel van het boek vind je een overzicht.



1 Onderzoek doen

Het doen van onderzoek begint met een onderzoeksvraag. Je maakt een plan om achter het antwoord te komen, en voert dat plan daarna zelf uit. Daarbij ga je stap voor stap te werk.

Stap 1 **Bedenk een onderzoeksvraag.**
Soms staat de onderzoeksvraag al in de opdracht vermeld. Dan hoef je er alleen maar over na te denken hoe je die vraag kunt beantwoorden. Soms wordt van jou verwacht dat je zelf een onderzoeksvraag bedenkt. Wees daarbij niet te gauw tevreden: je moet wel een idee hebben hoe je je vraag kunt beantwoorden. Formuleer voordat je verdergaat je onderzoeksvraag zo precies mogelijk.

Stap 2 **Maak een werkplan.**
In je werkplan schrijf je op:
- welke grootheden je gaat meten;
- welke materialen en apparatuur je nodig hebt;
- welke opstelling je gaat bouwen (maak een tekening);
- welke metingen je gaat uitvoeren;
- (eventueel) welke formules je gaat gebruiken.

Stap 3 **Uitvoeren en uitwerken.**
Je bouwt de proefopstelling en voert daarmee de geplande metingen uit. Na elke meting noteer je de meetwaarden overzichtelijk, bijvoorbeeld in een tabel. Na afloop werk je de metingen verder uit, bijvoorbeeld door een grafiek te tekenen of door berekeningen te maken. Raadpleeg daarvoor zo nodig de andere vaardigheden.

Stap 4 **Conclusies trekken.**
Als alles goed is gegaan, kun je nu conclusies trekken. Die conclusies vormen samen het antwoord op je onderzoeksvraag. Een conclusie is geen samenvatting van de meetresultaten, maar iets wat je uit die meetresultaten afleidt (concludeert). Vraag je ook af wat er in je onderzoek beter had gekund.

Stap 5 **Een verslag maken.**
Tot slot maak je een verslag van je onderzoek. Zie de vaardigheid *Een verslag schrijven*.

2 Werken met grootheden en eenheden

Een grootheid is iets wat je kunt meten. Voorbeelden van grootheden zijn massa, kracht, weerstand en tijd. Om een grootheid te kunnen meten, heb je een eenheid nodig. Je meet de massa in kilogram, de kracht in newton, de weerstand in ohm en de tijd in seconden.

Vaak past de grootte van een eenheid niet goed bij de grootte van wat je wilt meten. In zo'n geval kun je een voorvoegsel voor de eenheid zetten. In plaats van: "De dikte is 0,0003 meter" schrijf je: "De dikte is 0,3 mm."

Je kunt een voorvoegsel altijd vervangen door een macht van 10 (en omgekeerd). In plaats van: "Door de leidingen te isoleren, bespaar je 4,8 GJ aan warmte" kun je ook schrijven: "Door de leidingen te isoleren, bespaar je $4,8 \cdot 10^9$ J aan warmte." Zie tabel 1.

tabel 1 Voorvoegsels en hun betekenis.

voorvoegsel	afkorting	betekenis	voorbeeld
giga	G	10^9	1 GJ = 10^9 J
mega	M	10^6	1 MW = 10^6 W
kilo	k	10^3	1 kN = 1000 N
hecto	h	10^2	1 hPa = 100 Pa
deca	da	10^1	1 dam = 10 m
deci	d	10^{-1}	1 dL = 0,1 L
centi	c	10^{-2}	1 cm = 0,01 m
milli	m	10^{-3}	1 mΩ = 0,001 Ω
micro	µ	10^{-6}	1 µg = 10^{-6} g
nano	n	10^{-9}	1 ns = 10^{-9} s

Soms zijn er voor één grootheid verschillende eenheden in gebruik. Denk aan elektrische energie in joule (J) en kilowattuur (kWh) of aan snelheid in meter per seconde (m/s) en kilometer per uur (km/h). In dat geval is het soms nodig dat je een gegeven van de ene eenheid naar de andere omrekent.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Volgens een consumentenorganisatie verbruikt een gemiddeld Nederlands gezin ongeveer 300 kWh elektrische energie per maand.
Hoeveel is dat in joule?

1 kWh = $3,6 \cdot 10^6$ J

300 kWh = $300 \times 3,6 \cdot 10^6 = 1,08 \cdot 10^9$ J (of 1,08 GJ)

VOORBEELDOPDRACHT 2

Volgens een autofabrikant is de maximale snelheid van zijn topmodel 255 km/h.
Hoeveel m/s is dat?

1 m/s = 3,6 km/h

255 km/h = $\frac{255}{3,6}$ = 71 m/s

3 Werken met machten van 10

Bij het vak natuurkunde krijg je regelmatig te maken met getallen die erg groot of juist erg klein zijn. Er is een manier bedacht om dat soort getallen handig op te schrijven. Voor grote getallen gebruik je positieve machten van 10. Voor kleine getallen gebruik je negatieve machten van 10.

positieve machten
$10^1 = 10$
$10^2 = 10 \times 10 = 100$
$10^3 = 10 \times 10 \times 10 = 1000$
enzovoort

negatieve machten
$10^{-1} = 1/10 = 0{,}1$
$10^{-2} = 1/10 \times 1/10 = 1/100 = 0{,}01$
$10^{-3} = 1/10 \times 1/10 \times 1/10 = 1/1000 = 0{,}001$
enzovoort

Als je dat wilt, kun je een macht van 10 vervangen door een voorvoegsel. In plaats van: “Het vermogen van de centrale is $4{,}75 \cdot 10^8$ W” kun je ook schrijven: “Het vermogen van de centrale is 475 MW.” Reken maar na:
$4{,}75 \cdot 10^8$ W = $475 \cdot 10^6$ W = 475 MW (M = 10^6)

VOORBEELDOPDRACHT
De kerncentrale in Gravelines (Frankrijk) heeft een elektrisch vermogen van 5460 MW. In de praktijk wordt maar 75% van dit vermogen ook echt geleverd. Gemiddeld is 25% van het vermogen niet beschikbaar, vooral vanwege onderhoud.
Bereken hoeveel kWh elektrische energie de kerncentrale in één jaar levert.

75% van 5460 MW = 4095 MW
P = 4095 MW = $4095 \cdot 10^6$ W = $4095 \cdot 10^3$ kW
$t = 365 \times 24 = 8760$ h

$E = P \cdot t$
$= 4095 \cdot 10^3 \times 8760$
$= 36 \cdot 10^9$ kWh

De centrale produceert elk jaar 36 miljard kWh elektrische energie.

tabel 2 Voorbeelden van machten van 10 uit de natuur.

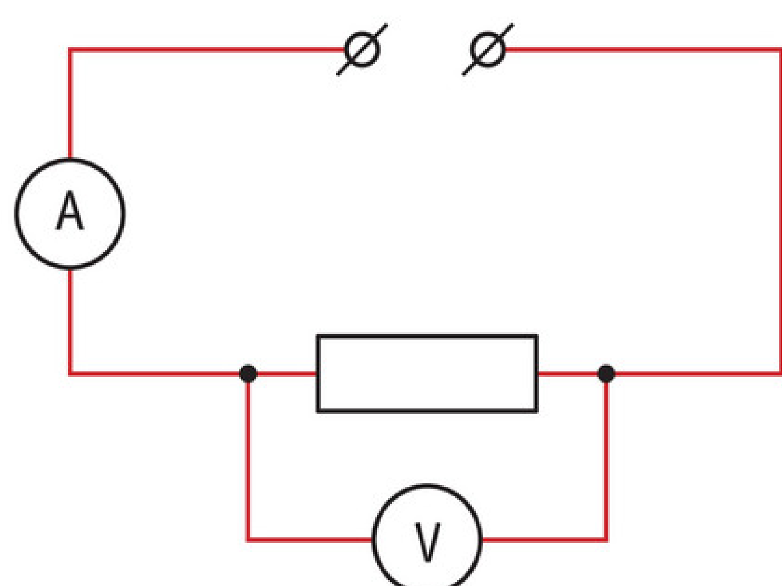
	lengte (m)	massa (kg)	tijd (s)
10^{-10}	diameter atoom		
10^{-9}			
10^{-8}	diameter kleinste virus		
10^{-7}		massa zandkorrel	
10^{-6}	diameter bacterie	massa regendruppel	
10^{-5}	diameter rode bloedcel		
10^{-4}	dikte papier	massa vlieg	duur bliksemflits
10^{-3}			
10^{-2}	dikte vinger	massa muis	
10^{-1}			reactietijd mens
10^{0}	lengte mens	massa pak suiker	tijd tussen twee hartslagen
10^{1}			record 100 m hardlopen
10^{2}	lengte supertanker	massa mens	
10^{3}		massa auto	één kwartier
10^{4}	maximale diepte oceaan		
10^{5}		massa jumbojet	één dag
10^{6}	diameter maan		
10^{7}	diameter aarde		één jaar
10^{8}	afstand aarde-maan	massa supertanker	
10^{9}			levensduur mens
10^{10}			
10^{11}	afstand zon-aarde		ouderdom piramides
10^{12}			moderne mens aanwezig op aarde

4 Werken met meetinstrumenten

Bij het vak natuurkunde werk je met allerlei meetinstrumenten. Om een goede meting uit te kunnen voeren, ga je stap voor stap te werk.

Stap 1 **Bepaal welk(e) meetinstrument(en) je nodig hebt.**
Bij een onderzoek wil je een vraag beantwoorden zoals:
Klopt het elektrisch vermogen dat op dit apparaat is vermeld?
Je weet dat je het elektrisch vermogen kunt bepalen met de formule $P = U \cdot I$. Dat betekent dat je de spanning (U) en de stroomsterkte (I) moet meten. Je hebt dus twee meetinstrumenten nodig: een spanningsmeter en een stroommeter.

Stap 2 **Sluit het meetinstrument aan.**
Stroom- en spanningsmeters moet je correct aansluiten: een stroommeter in serie met het apparaat, een spanningsmeter parallel (figuur 1).
Bij gelijkstroom en -spanning is ook de stroomrichting van belang. Je moet de pluskant van de meter verbinden met de pluspool van de spanningsbron en de minkant met de minpool. Meestal is de pluskant een rood busje en de minkant een zwart busje (figuur 2).



figuur 1 Zo sluit je een spanningsmeter en een stroommeter aan.



figuur 2 Hoe groot is de stroomsterkte?

Stap 3 **Kies het juiste meetbereik.**
Stroom- en spanningsmeters hebben vaak meer dan één meetbereik. De stroommeter in figuur 2 heeft bijvoorbeeld drie meetbereiken: 0 tot 5 A, 0 tot 0,5 A en 0 tot 0,05 A. Je kunt het meetbereik dat je moet gebruiken, als volgt vinden:

- Maak een proefmeting met het grootste meetbereik.
- Kijk hoe groot de stroomsterkte of de spanning ongeveer is.
- Kies het kleinste meetbereik waarbij je de meter nog kunt aflezen.
- Hoe kleiner het gebruikte meetbereik, des te nauwkeuriger is het meetresultaat.

Stap 4 **Lees het meetinstrument af.**

Veel meetinstrumenten hebben een schaalverdeling. Bij het aflezen van zo'n meetinstrument bepaal je eerst hoeveel elk streepje waard is. Daarna lees je zo nauwkeurig mogelijk de meetwaarde af.

Bij de stroommeter in figuur 2 redeneer je bijvoorbeeld als volgt:

- Ik heb het meetbereik van 0 tot 0,5 A gebruikt.
- Tussen 0,3 en 0,4 A zijn er tien tussenruimtes.
- Elk streepje is dus $\frac{0{,}1}{10}$ = 0,01 A waard.
- De wijzer staat op het zesde streepje.
- De stroomsterkte is dus 0,36 A.

5 Werken met formules

Bij het vak natuurkunde moet je regelmatig berekeningen maken. Ga daarbij stap voor stap te werk.

Stap 1 **Lees de opdracht.**
Lees de opdracht en schat hoe groot de uitkomst ongeveer zal zijn. In de voorbeeldopdracht wordt gevraagd hoelang een waterkoker erover doet om een kop water aan de kook te brengen. Je weet dat je dan enkele tientallen seconden tot een minuut moet wachten. Een paar seconden is duidelijk te weinig en vijf minuten is duidelijk te veel.

Stap 2 **Noteer de gegevens.**
Vertaal alle gegevens in letters en cijfers en noteer ze. Een gegeven zoals '44 kJ energie' noteer je bijvoorbeeld als: $E = 44$ kJ $= 4{,}4 \cdot 10^4$ J.

Stap 3 **Schrijf de formule(s) op.**
Sommige formules kun je op verschillende manieren opschrijven. Neem de vorm waarin de grootheid die je wilt berekenen voor het isgelijkteken staat. Je schrijft dus:

- $E = P \cdot t$ als je de hoeveelheid energie (E) wilt berekenen;
- $P = \frac{E}{t}$ als je het vermogen (P) wilt berekenen;
- $t = \frac{E}{P}$ als je de benodigde tijd (t) wilt berekenen.

Stap 4 **Vul de gegevens in.**

Stap 5 **Werk de berekening uit.**

Stap 6 **Noteer de uitkomst.**
De uitkomst is een getal gevolgd door een eenheid. De eenheid moet kloppen met de gegevens. Als je het vermogen invult in watt (W = J/s) en de tijd in seconden (s), dan vind je de hoeveelheid energie in joule (J). Zie ook de vaardigheid *Uitkomsten afronden*.

Stap 7 **Controleer de uitkomst.**
Vergelijk de uitkomst met de schatting die je in het begin maakte. Ga ook na of je geen reken- of overschrijffouten hebt gemaakt.

VOORBEELDOPDRACHT

Om het water voor een kop thee aan de kook te brengen, is 44 kJ warmte nodig. Hoelang doet een waterkoker van 1800 W erover om deze hoeveelheid energie te leveren?

gegevens $E = 44$ kJ $= 4{,}4 \cdot 10^4$ J
$P = 1800$ W

gevraagd $t = ?$

uitwerking $t = \frac{E}{P} = \frac{4{,}4 \cdot 10^4}{1800} = 24$ s

6 Formules herschrijven

Bij het vak natuurkunde gebruik je vaak formules. Zo'n formule kun je op verschillende manieren opschrijven. Soms is de ene vorm handiger, soms de andere. Dat wil niet zeggen dat je al die verschillende vormen moet onthouden. Als je één vorm onthoudt, dan kun je de andere vormen daar snel uit afleiden. Dat noem je de formule herschrijven.

Voor het herschrijven van formules kun je twee wiskundige methoden gebruiken: kruislings vermenigvuldigen en de balansmethode. Neem bijvoorbeeld de formule: $v = \frac{s}{t}$

Stel dat je met deze formule de tijd t wilt berekenen, dan kun je de formule als volgt herschrijven:

Methode 1: Kruislings vermenigvuldigen
Hiervoor schrijf je eerst beide kanten als breuk: $v = \frac{s}{t} \rightarrow \frac{v}{1} = \frac{s}{t}$, want $\frac{v}{1} = v$

Vermenigvuldig kruislings:
$\frac{v}{1} = \frac{s}{t} \rightarrow v \cdot t = s \cdot 1 \rightarrow v \cdot t = s$

Deel nu beide kanten door v: $v \cdot t = s \rightarrow \frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v}$

Vereenvoudig de uitkomst: $\frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v} \rightarrow t = \frac{s}{v}$, want $\frac{v}{v} = 1$

Methode 2: De balansmethode

Hierbij doe je aan beide zijden van het isgelijkteken steeds hetzelfde. Het isgelijkteken betekent namelijk dat aan beide zijden dezelfde waarde staat, bijvoorbeeld: 3 = 3, of $\frac{6}{2} = \frac{3}{1}$ of $v = \frac{s}{t}$

Je mag beide zijden met hetzelfde getal vermenigvuldigen. De waarden aan beide zijden van het isgelijkteken veranderen, maar zijn nog steeds aan elkaar gelijk, bijvoorbeeld: $\frac{6 \cdot a}{2} = \frac{3 \cdot a}{1} \rightarrow 3 \cdot a = 3 \cdot a$

Hetzelfde geldt voor beide zijden delen door hetzelfde getal.

Vermenigvuldig nu in $v = \frac{s}{t}$ beide zijden met t: $v = \frac{s}{t} \rightarrow v \cdot t = \frac{s \cdot t}{t}$

Schrijf $v \cdot t = \frac{s \cdot t}{t}$ als $v \cdot t = s$, want: $\frac{t}{t} = 1$

Deel beide zijden door v: $v \cdot t = s \rightarrow \frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v}$

Schrijf $\frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v}$ als $t = \frac{s}{v}$, want: $\frac{v}{v} = 1$

7 Uitkomsten afronden

De uitkomst van een berekening kan niet nauwkeuriger zijn dan de gegevens die je hebt gebruikt. Daarom moet je de uitkomsten van berekeningen vaak afronden. Anders lijkt het alsof de uitkomst heel nauwkeurig is, terwijl dat in werkelijkheid niet zo is.

In de voorbeeldopdracht is de spanning 134 mV en de stroomsterkte 1,9 mA. Je zegt dat de spanning in drie significante cijfers is gegeven, en de stroomsterkte in twee significante cijfers. Dat betekent dat de stroomsterkte het minst nauwkeurige gegeven is. Daar moet je bij het afronden rekening mee houden.

Je kunt voor het afronden deze eenvoudige vuistregel gebruiken:

De uitkomst krijgt evenveel significante cijfers als het minst nauwkeurige gegeven.

Maar als de uitkomst één significant cijfer meer heeft, wordt dat ook goed gerekend.

Bij het tellen van het aantal significante cijfers moet je speciaal op de nullen letten:
- Nullen aan het begin van een getal tellen niet mee als je het aantal significante cijfers bepaalt: 25 cm heeft evenveel significante cijfers als 0,25 m. De nul aan het begin zegt alleen iets over de grootte van het getal en niets over de nauwkeurigheid. Hij is niet significant.
- Nullen middenin of aan het einde van het getal tellen wel mee voor het aantal significante cijfers. Als je lengte wordt gegeven als 1,80 meter, dan maakt die nul duidelijk dat je lengte is gemeten tot op 1 cm nauwkeurig. Deze nul zegt dus wél iets over de nauwkeurigheid.
- Nog enkele voorbeelden:
  - 2,0 heeft twee significante cijfers en 0,2 heeft maar één significant cijfer;
  - 0,22 en 0,022 hebben allebei twee significante cijfers;
  - 2,02 heeft drie significante cijfers.

Om correct af te ronden kijk je naar het eerste cijfer dat je moet schrappen. Als dat een 5 of meer is, moet je naar boven afronden. Dat betekent dat je het cijfer daarvóór met 1 moet verhogen. Is het cijfer dat je schrapt een 4 of lager, dan hoef je het cijfer daarvoor niet te verhogen.

Als je het antwoord in drie cijfers moet geven:
- rond je 2,345 af op 2,35;
- rond je 2,354 ook af op 2,35;
- rond je 2,395 af op 2,40;
- rond je 2,404 ook af op 2,40;
- enzovoort.

VOORBEELDOPDRACHT

Als er een spanning van 134 mV over een weerstand staat, is de stroomsterkte 1,9 mA. Bereken de weerstand.

gegevens U = 134 mV = 0,134 V
I = 1,9 mA = 0,0019 A

gevraagd R = ?

uitwerking $R = \frac{U}{I} = \frac{0,134}{0,0019} = 71\ \Omega$

Toelichting

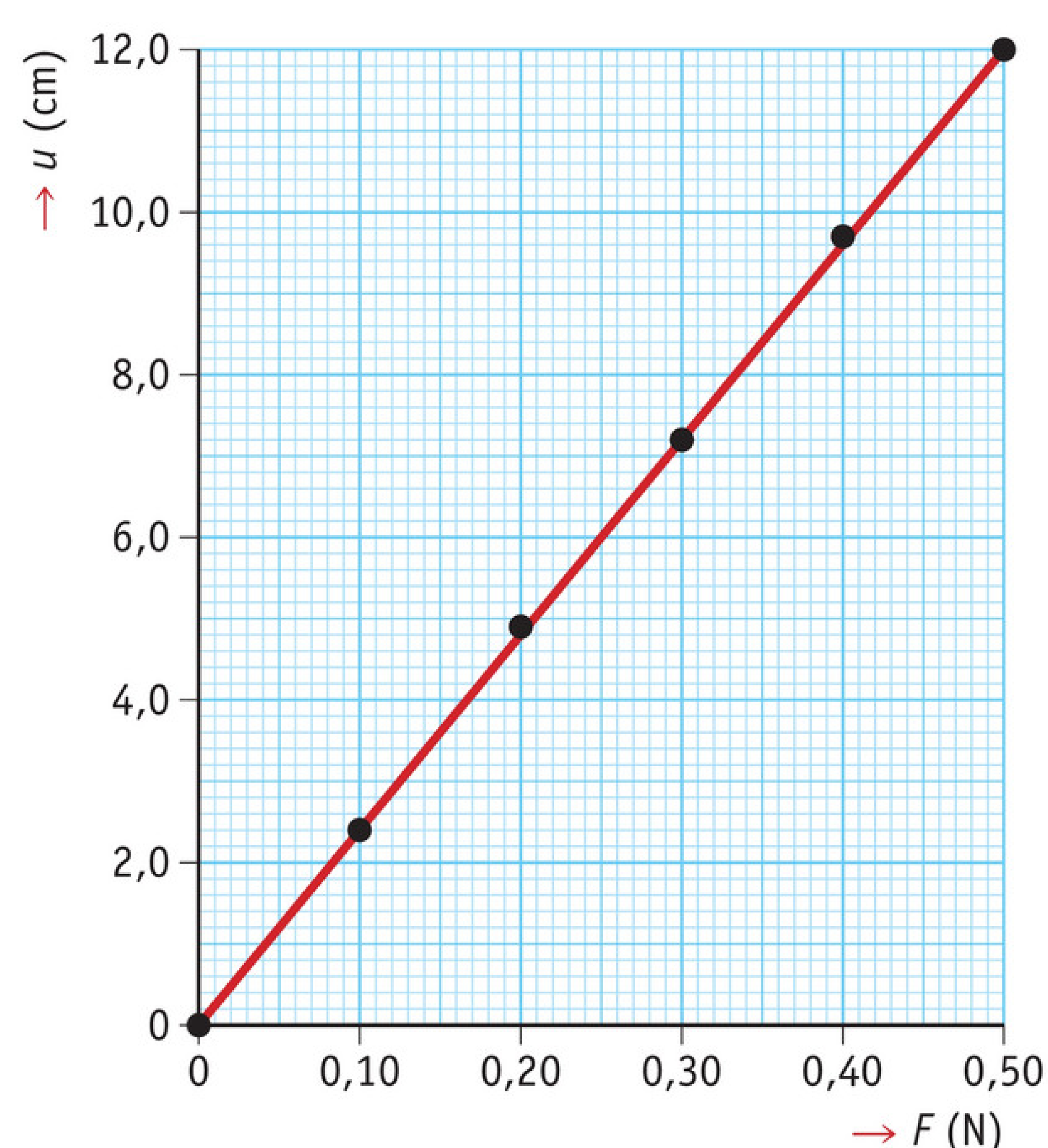
Als je de berekening op een rekenmachine uitvoert, krijg je als uitkomst 70,526 316. Het gegeven I = 1,9 mA heeft het kleinste aantal significante cijfers: twee. Je geeft het antwoord daarom ook in twee significante cijfers. Dus schrap je alle getallen na 70. Omdat het eerste cijfer dat je schrapt een 5 is, verhoog je de 0 daarvoor met 1. De correct afgeronde uitkomst is dus 71 Ω.

8 Werken met tabellen en grafieken

Veel onderzoeksvragen gaan over het verband tussen twee grootheden. Neem bijvoorbeeld de onderzoeksvraag:
Wat is het verband tussen de uitrekking van een veer en de kracht die op de veer wordt uitgeoefend?
Deze vraag gaat over het verband tussen de kracht en de uitrekking.

Om deze vraag te beantwoorden, voer je een serie metingen uit. Je hangt gewichtjes aan de veer en meet elke keer hoe ver de veer daardoor uitrekt. De meetresultaten noteer je in een tabel. Na afloop geef je de meetresultaten in de tabel in een grafiek weer.

Zo'n grafiek maak je als volgt:



figuur 3 Een grafiek van de uitrekking tegen de kracht.

Stap 1 **Teken een assenstelsel.**

Stap 2 **Zet bij elke as een grootheid, met de bijbehorende eenheid.**
Bijvoorbeeld: → *F* (N) en → *u* (cm).

Stap 3 **Zet langs beide assen een geschikte schaalverdeling.**
Zorg ervoor dat de grootste getallen er nog op passen.

Stap 4 **Teken de meetresultaten in als punten.**

Stap 5 **Teken de lijnen in.**
Teken een rechte lijn als de punten (ongeveer) op een rechte lijn liggen. Teken een vloeiende kromme als dat niet zo is. Laat die lijn of kromme zo goed mogelijk bij de punten aansluiten, maar verbind de punten nooit één voor één met elkaar. Het geeft niet dat de rechte lijn of de kromme niet precies door alle meetpunten loopt.

9 Verbanden meten

Veel onderzoeksvragen gaan over het verband tussen twee grootheden. Neem bijvoorbeeld de onderzoeksvraag:
Wat is het verband tussen de uitrekking van een veer en de kracht die op de veer wordt uitgeoefend?
Bij deze vraag zijn de grootheden de kracht (op de veer) en de uitrekking (van de veer).

Hoe meet je nu zo'n verband? Een paar aanwijzingen:

Stap 1 **Maak eerst een tabel waarin je de meetresultaten kunt noteren.**
Noteer links de kracht en rechts de uitrekking.

Stap 2 **Kies voor de grootheid in de linkerkolom een stapgrootte van ronde getallen.**
Bijvoorbeeld de volgende waarden van de kracht (in N):
0 0,1 0,2 0,3 0,4 enzovoort.
Dat maakt het gemakkelijker om straks een grafiek te tekenen.

Stap 3 **Noteer de meetwaarden in de tabel: links de kracht (in N), rechts de uitrekking (in cm).**

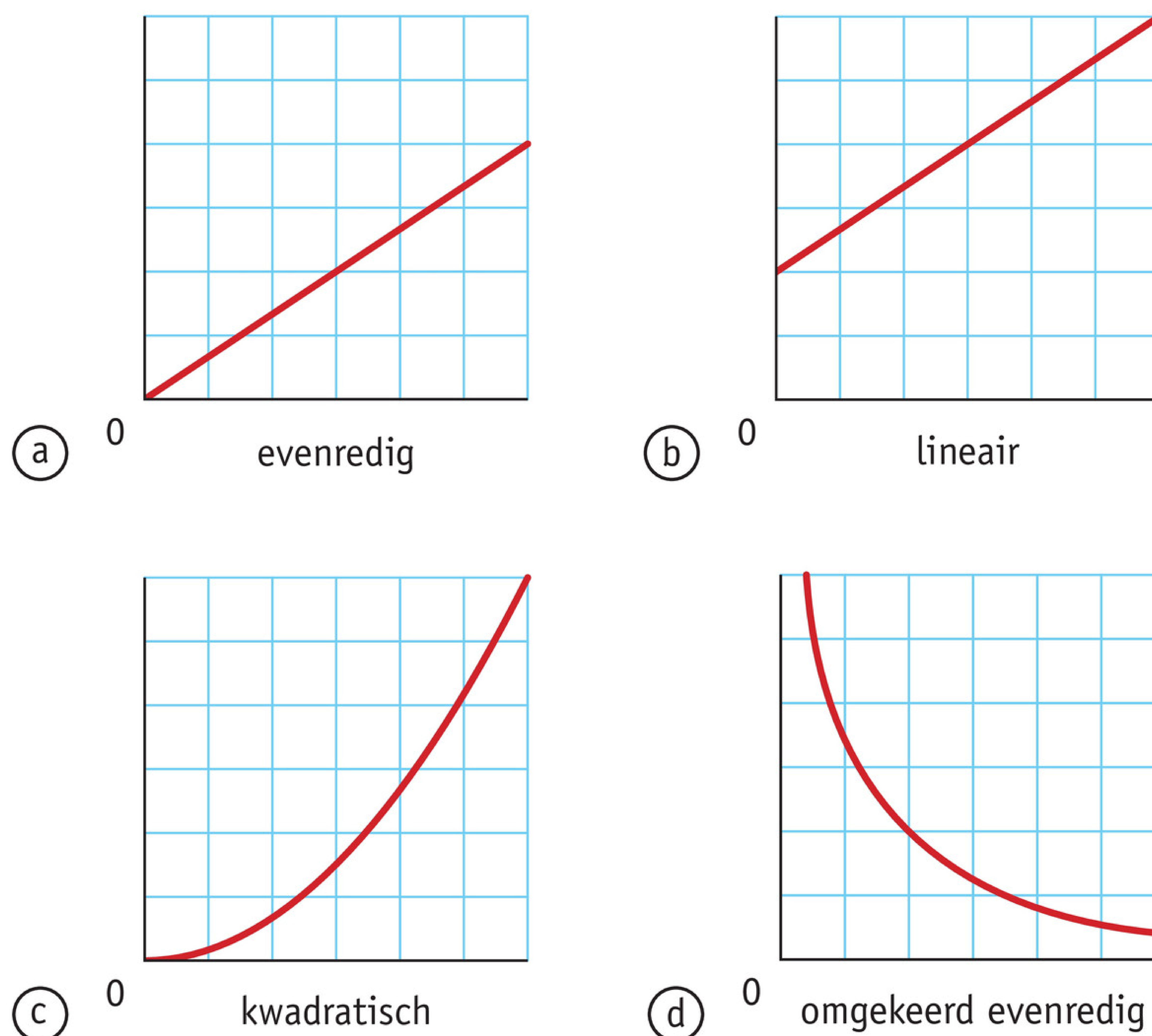
Stap 4 **Verwerk je metingen tot een grafiek.**
In de vaardigheid *Werken met tabellen en grafieken* kun je lezen hoe dat moet. Zet de kracht langs de horizontale as en de uitrekking langs de verticale as.

Stap 5 **Vergelijk jouw grafiek met figuur 4.**

Daarin zie je hoe een grafiek eruitziet:

a als het verband evenredig is;
b als het verband lineair is;
c als het verband kwadratisch is;
d als het verband omgekeerd evenredig is.

figuur 4 Vier soorten verbanden.



Het (*u*,*F*)-diagram van een spiraalveer is een rechte lijn door de oorsprong (figuur 3 in de vaardigheid *Werken met tabellen en grafieken*). Daaraan zie je dat het verband tussen de uitrekking en de kracht bij een spiraalveer evenredig is.

10 Een verslag schrijven

Bij een onderzoek hoort een verslag. In dat verslag leg je uit hoe het onderzoek is verlopen. Iemand die er niet bij is geweest, moet precies kunnen begrijpen wat er allemaal is gebeurd.

Deel je verslag als volgt in:

Titelpagina
Hierop vermeld je de titel van het onderzoek, de namen van de leerlingen in je onderzoeksgroep, de naam van je docent, de datum en het jaartal.

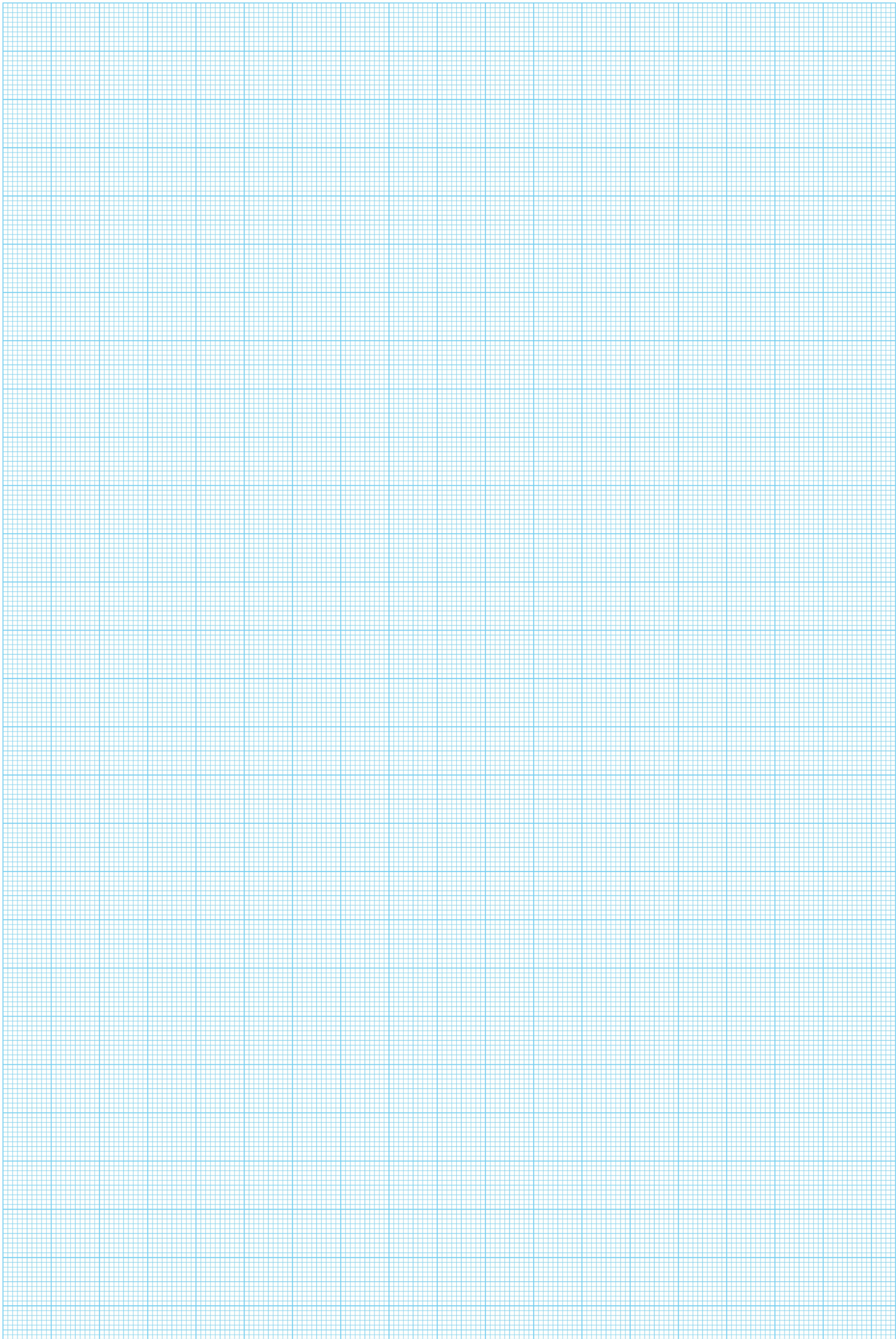
§ 1 Onderzoeksvraag
In deze paragraaf leg je uit welke vraag je met je onderzoek wilt beantwoorden.

§ 2 Werkplan
Hierin staat:
- welke grootheden je hebt gemeten;
- welke practicumspullen je hebt gebruikt;
- wat voor opstelling je hebt gemaakt (maak een tekening of een foto);
- wat je precies hebt gedaan:
  - Welke metingen heb je uitgevoerd?
  - Hoe heb je de meetresultaten verwerkt (tekenen/berekenen)?
  - Welke berekeningen heb je uitgevoerd (inclusief formules)?

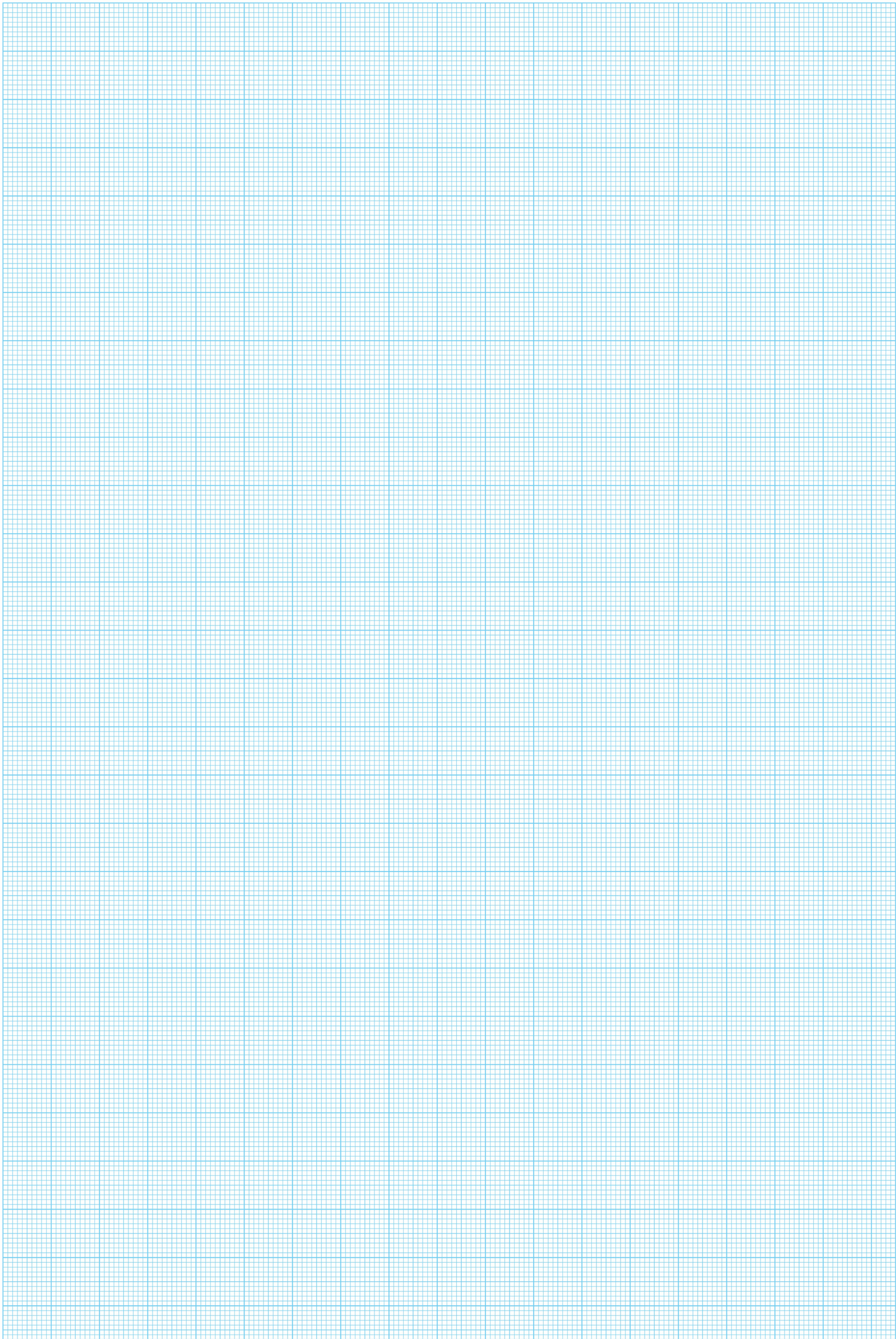
§ 3 Onderzoeksresultaten
Hierin vermeld je wat je hebt waargenomen of gemeten: in de vorm van tekst, tabellen, grafieken, foto's en dergelijke.

§ 4 Conclusies
Hierin staat het antwoord op de onderzoeksvraag. Ook schrijf je op wat er beter had gekund.

Een verslag hoort er goed uit te zien. Het gaat niet alleen om de inhoud van je verslag. Je moet de inhoud ook duidelijk en overzichtelijk presenteren. Een aantal aanwijzingen:
- Gebruik papier op A4-formaat.
- Zorg ervoor dat er ruime marges overblijven: onder en boven, links en rechts.
- Kies een goed leesbaar lettertype, met een goede lettergrootte.
- Zet een vet kopje boven elke paragraaf. Sla daarna een regel over.
- Zorg voor nette tekeningen, tabellen en grafieken. Zet er een nummer bij zodat je ernaar kunt verwijzen.







Register

Achter elk begrip staat de pagina waarop het begrip in de leertekst wordt uitgelegd en de pagina waarop het begrip in het Leerstofoverzicht staat. Begrippen die in de plus-stof staan, staan enkel in de leertekst.

W

Z

Colofon

ONTWERP BINNENWERK
Pointer grafische vormgeving
Crius Group

ONTWERP OMSLAG
Studio Struis

UITVOERING BINNENWERK
Crius Group

AUTEURS
F. Alkemade
F. Kan
L. Lenders
S. Michon, michon educatie
F. Molin
R. Tromp
P. Verhagen

EINDREDACTIE
C. Biemans, frontlinie.nl

TECHNISCH TEKENWERK
Sittrop Grafisch Realisatiebureau, Rotterdam;
Erik Eshuis, Groningen; Zanzara Illustrations, Gorleston

BEELDRESEARCH
BenU

BEELDVERANTWOORDING
Aaron Amat/Shutterstock: pag. 73 (o); ABB Group: pag. 45 (m), 57 (b), 58; Aleksandr Papichev/123RF: pag. 166 (o); AlexLMX/Shutterstock: pag. 26 (b); Angel Photography, Amsterdam: pag. 29 (m); Anton Starikov/123RF: pag. 48; Brian Donovan/Shutterstock: pag. 101 (o); Canetti/iStockphoto: pag. 145; Dafinchi/Shutterstock: pag. 43; Didacus Odhiambo/Integrated Solar Cooking Project: pag. 130; Don Mason/Blend Images LLC/Getty Images/Tetra images RF: pag. 64/65; Elmer van der Marel/De Beeldunie: pag. 93; Erik Eshuis Infographics, Groningen: pag. 30, 38, 47, 49 (b), 97 (b/l), 97 (b/r), 122, 126. 128 (b) (o), 133, 135, 137, 138 (b) (o), 139 (b) (o), 140 (b), 144 (o), 146, 148, 151, 153, 157, 159, 161; ESA/Anneke Le Floch: pag. 102 (b); FirmaV/Shutterstock: pag. 25; Flip Franssen/Hollandse Hoogte: pag. 155; Flir: pag. 144 (b); Ian Hodgson/Reuters/ANP Foto: pag. 68; IsoBouw Systems BV, Someren: pag. 149; Jeff Hinds/Shutterstock: pag. 73 (b); Kirill Gorlov/AdobeStock: pag. 15; Lars Kastilan/123RF/Sittrop Grafisch Realisatiebureau, Rotterdam: pag. 87 (o); Liam West/Tesla: 165 (o); lightpoet/123RF: pag. 172; malp/123RF: pag. 164; mapraest/ Shutterstock: pag. 141; Mark Bowden/iStockphoto: pag. 35 (o); Mark Garlick/Science Photo Library/Hollandse Hoogte, Den Haag: pag. 89; maxim ibragimov/Shutterstock: pag. 140 (o); Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam: pag. 35 (b), 39 (o/l), 39 (o/r), 40, 49 (o), 53, 99 (o), 134, 177 (o); Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam; Shutterstock: pag. 33 (b); Michael Sohn/Associated Press/Hollandse Hoogte, Den Haag: pag. 101 (b); Michiel Wijnbergh/Hollandse Hoogte: pag. 125 (m/r); Mike Bogemans/ Rijkswaterstaat: pag. 11 (o); Mikkel Juul Jensen/Science Photo Library/ANP Foto, Den Haag: pag. 99 (b); Mischa Keijser/Getty Images/Cultura RF: pag. 120/121; NGK EUROPE GMBH : pag. 165 (b); NurPhoto via ZUMA Press/ Hollandse Hoogte, Den Haag: pag. 114 (b); Olaf Krüger/ImageBroker/ Imageselect: pag. 71 (o); Olena Z/Shutterstock: pag. 115; pedrosala/ Shutterstock: pag. 56; peepy/Shutterstock: pag. 166 (b); Peter J. Segaar/ www.polderpv.nl: pag. 152; Pim Ras/Hollandse Hoogte, Den Haag: pag. 116; Prof. Dr. Bert Otten, Universiteit Groningen: pag. 114 (o); Rudmer Zwerver/Shutterstock: pag. 16; Rudmer Zwerver/Shutterstock: pag. 124; Ruud Morijn/Dreamstime: pag. 21; Ruud Morijn/Nationale Beeldbank: pag. 10; Sean Pavone/Shutterstock: pag. 158; Serg64/Shutterstock: pag. 28 (m/l); Shutterstock: pag. 44 (o); Sittrop Grafisch Realisatiebureau, Rotterdam: pag. 8, 9, 12, 13, 17, 18 (b) (o), 19, 20, 22 (o), 23, 26)o), 28 (b), 28 (m/r), 29 (b), 31, 36 (b) (o), 37, 39 (b), 41, 45 (b) (o), 46, 50, 55, 66, 69 (o), 70, 71 (b), 72, 74 (b) (o), 75 (b) (o), 76, 77, 78 (b) (o), 79, 80 (b) (o), 81 (b) (o), 82, 83, 84 (b) (o), 85 (b) (o), 86, 87 (b) (o), 88, 91 (b) (o), 94, 95 (o), 96, 97 (o), 100 (b) (o), 102 (o), 103 (b/l) (b/r), 104, 105, 106, 107 (b) (o), 108, 109, 143, 154, 156, 177 (b) 183; Stroomversnelling: pag. 147; Sopotnicki/Shutterstock: pag. 6/7; T.W. van Urk/Shutterstock: pag. 14; Tesla Motors Inc. : pag. 29 (o); Tombow Pen & Pencil/www.tomboweurope.com: pag. 69 (b); Ulrik Pedersen/Hollandse Hoogte, Den Haag: pag. 113; Vincent Jannink/ANP Foto: pag. 57 (o), 90; vivooo/Shutterstock: pag. 98; withGod/Shutterstock: pag. 125 (m/l); Your Captain Luchtfotografie/ANP Foto, Den Haag: pag. 127; Zanzara Illustrations, Gorleston: pag. 11 (b), 22 (b), 32 (b) (o), 33 (o), 42, 44 (b), 51, 111

OMSLAG
Alexandre Eggermont/Getty images

ISBN 978 94 020 6513 8

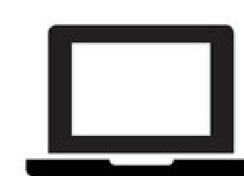
Release 2020, eerste oplage

MALMBERG

MAX

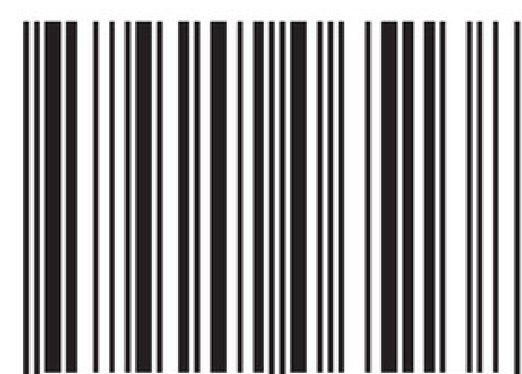

Je mag dit boek houden.
Handig als naslagwerk.


Je mag in dit boek schrijven
en aantekeningen maken.


Je hebt ook toegang tot
de online leeromgeving.

AUTEURS
F. Alkemade
F. Kan
L. Lenders
S. Michon
F. Molin
R. Tromp
P. Verhagen

EINDREDACTIE
C. Biemans

ISBN 978 94 020 6513 8


593627

MALMBERG